



TESE DE DOUTORAMENTO

ESTUDO TRANSVERSAL SOBRE O DESEMPENHO DAS COMPETENCIAS DE MODELIZACIÓN E USO DE PROBAS EN PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DA MATERIA

Vanessa Sesto Varela

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA UNIVERSIDADE DE
SANTIAGO DE COMPOSTELA

PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN EDUCACIÓN

SANTIAGO DE COMPOSTELA, 2021



D./Dna. **Vanessa Sesto Varela**

Título da tese: **Estudo transversal sobre o desempeño das competencias de modelización e uso de probas en procesos de transformación da materia**

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De ser o caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.
- 4) A tese é a versión definitiva presentada para a súa defensa e coincide a versión impresa coa presentada en formato electrónico

E comprométome a presentar o Compromiso Documental de Supervisión no caso de que o orixinal non estea na Escola.

En **Santiago de Compostela, 09 de Xullo de 2021.**

Sinatura electrónica





AUTORIZACIÓN DA DIRECTORA / TITORA DA TESE

**Estudo transversal sobre o desempeño das competencias
de modelización e uso de probas en procesos de
transformación da materia**

Dna. Isabel García-Rodeja Gayoso

INFORMA:

Que a presente tese, correspóndese co traballo realizado por Dna. Vanessa Sesto Varela, baixo a miña dirección/titorización, e autorizo a súa presentación, considerando que reúne os requisitos esixidos no Regulamento de Estudos de Doutoramento da USC, e que como director desta non incorre nas causas de abstención establecidas na Lei 40/2015.

De acordo co indicado no Regulamento de Estudos de Doutoramento, declara tamén que a presente tese de doutoramento é idónea para ser defendida en base á modalidade de Monográfica con reprodución de publicacións, nos que a participación da doutoranda foi decisiva para a súa elaboración e as publicacións se axustan ao Plan de Investigación.

En Santiago de Compostela, 9 de Xullo de 2021



AGRADECEMENTOS

O desenvolvemento desta tese foi posible grazas ao apoio e colaboración de numerosas persoas e institucións. A todas elas expreso o meu máis sincero agradecemento.

Á Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria da Xunta de Galicia pola concesión da axuda de apoio á etapa predoutoral ED481A-2016/138 que me permitiu realizar unha estadía de formación na universidade de Kristianstad en Suecia e, deste xeito, poder optar á mención europea. Tanto ao Ministerio de Educación, Cultura e Deporte como ao Fondo Europeo de Desenvolvemento Rexional (FEDER) ao ser a tese desenvolta ao abeiro do proxecto EDU2015-6643-C2-2-P e do proxecto PGC2018-096581-B-C22.

Á miña titora e directora de tese, Isabel García-Rodeja, por haber confiado en min desde o primeiro momento, e por haberme guiado e apoiado durante todo este longo treito, alén de transmitirme os coñecementos necesarios para desenvolver a investigación.

Á miña titora durante a estadía de formación na universidade de Kristianstad en Suecia, Lena Löfgren, pola súa cálida acollida e por outorgarme a posibilidade de desenvolver parte da investigación nun centro escolar da vila. A Andreas Redfors polas conversas acerca de metodoloxía e polas súas interesantes suxestións.

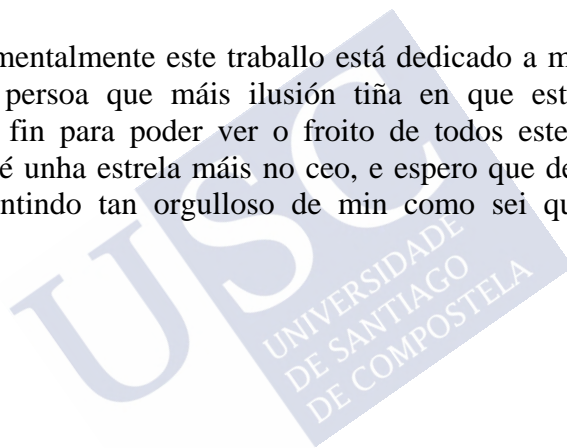
A Konstantinos Ravanis da universidade de Patras en Grecia por haberse interesado polo noso traballo e por habernos permitido colaborar en numerosas publicacións.

A todos e cada un dos membros da área de didáctica das ciencias experimentais da Universidade de Santiago de Compostela, xa que dun modo ou outro foron de gran apoio durante este proceso.

Ás profesoras e ao alumnado que participaron na investigación e que, por consideracións éticas, manteño no anonimato.

Á miña familia e a Juan, o meu compañeiro de vida, polo seu apoio incondicional durante a montaña rusa de emocións que acompañou o desenvolvemento desta tese e por haber confiado fondamente en min.

Pero fundamentalmente este traballo está dedicado a meu pai (*in memoriam*). A persoa que máis ilusión tiña en que este proceso chegase ao seu fin para poder ver o froito de todos estes anos de traballo. Agora é unha estrela máis no ceo, e espero que desde alí se poida seguir sentindo tan orgulloso de min como sei que sempre estivo.



AGRADECEMENTOS

SUMMARY	1
----------------------	---

IFUNDAMENTACIÓN	23
------------------------------	----

1 INTRODUCCIÓN	25
-----------------------------	----

1.1 ANTECEDENTES DO ESTUDO	26
----------------------------------	----

1.2 OBOECTIVOS DE INVESTIGACIÓN	29
---------------------------------------	----

1.3 ORGANIZACIÓN DA TESE	31
--------------------------------	----

2 MARCO TEÓRICO	35
------------------------------	----

2.1 INTRODUCCIÓN	35
------------------------	----

2.2 CORPUS DE COÑECEMENTO NO EIDO DE DIDÁCTICA DAS CIENCIAS	35
---	----

2.2.1 Perspectiva social da aprendizaxe das ciencias	35
--	----

2.2.2 As competencias e as prácticas científicas	38
--	----

2.2.2.1 Competencia científica	40
--------------------------------------	----

2.2.2.2 As prácticas científicas	43
--	----

2.2.3 Os modelos no ensino das ciencias	47
---	----

2.2.3.1 Tipos de modelos e modos de representación	48
--	----

2.2.3.2 Os modelos mentais e as ideas alternativas	50
--	----

2.2.3.3 O cambio conceptual baseado en modelos	52
--	----

2.2.3.4 O proceso de modelización	54
---	----

2.2.3.5 Relación entre modelización e argumentación	57
---	----

2.2.3.6 Tipos de explicacións	61
-------------------------------------	----

2.3 REVISIÓN SISTEMÁTICA DA LITERATURA NO DOMINO CONCEPTUAL DA MATERIA E AS SÚAS TRANSFORMACIÓN	63
---	----

2.3.1 Definición da pregunta de investigación	64
---	----

2.3.2 Desenvolvemento de criterios de inclusión e exclusión	64
---	----

2.3.3. Selección dos estudos	64
------------------------------------	----

2.3.4 Aplicación dos criterios de inclusión e exclusión	68
---	----

2.3.5 Extracción de datos	70
---------------------------------	----

2.3.6 Resultados da revisión sistemática	71
--	----

2.3.6.1. Estrutura e composición da materia	78
---	----

2.3.6.2 Principio de conservación da materia	82
--	----

2.3.6.3 Propiedades físicas e cambios físicos	84
---	----

2.3.6.4 Propiedades químicas e cambios químicos.....	91
2.3.6.5 Estratexias de ensino.....	96
2.3.6.6 Limitacións da revisión sistemática	99
3 METODOLOXÍA.....	105
3.1 INTRODUCCIÓN	105
3.2 METODOLOXÍA CUALITATIVA.....	105
3.2.1 Tipos de investigación cualitativa.....	106
3.2.2 Fiabilidade da investigación cualitativa.....	109
3.3. ESTRATEXIA METODOLÓXICA EMPREGADA NESTE ESTUDO	110
3.3.1 Estudo de casos múltiple	110
3.3.2 Estudos transversais	115
3.4 PARTICIPANTES E RECOLLIDA DE DATOS.....	115
3.4.1 Observación.....	116
3.4.2 Cuestionarios	118
3.4.3 Entrevistas.....	119
3.4.4 Grupos de discusión.....	121
3.5 ANÁLISE DO DISCURSO	123
3.6 CONSIDERACIÓNS ÉTICAS	126
II RESULTADOS	129
4 EXPLICACIÓNS DO ALUMNADO DE EDUCACIÓN INFANTIL E PRIMARIA ACERCA DE FENÓMENOS NOS QUE A MATERIA SE TRANSFORMA	131
4.1 INTRODUCCIÓN	131
4.2 MARCO TEÓRICO	132
4.2.1 A importancia de introducir actividades de ciencias nas primeiras etapas educativas.....	132
4.2.2 Tipos de explicacións durante a infancia e os modelos precursores	133
4.2.3 Investigacións previas no eido da materia e as súas transformacións con alumnado de educación infantil e primaria	137
4.3 OBXECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	140
4.4 ESTUDO DE CASOS 1 (EC1): ALUMNADO DE EDUCACIÓN INFANTIL	141
4.4.1 Participantes e contexto.....	141
4.4.2 Descrición das experiencias propostas	144

4.4.3 Toma de datos	146
4.4.4 Ferramenta de análise de datos	148
4.4.5 Resultados e discusión	151
4.4.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo A (EC1)	151
4.4.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo B (EC1)	160
4.4.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo C (EC1)	170
4.4.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo A (EC1)	180
4.4.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo B (EC1)	186
4.4.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo C (EC1)	194
4.4.5.7. Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 1 (EC1)	201
4.5 ESTUDO DE CASOS 2 (EC2): ALUMNADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA	205
4.5.1 Participantes e contexto	205
4.5.2 Descrición das experiencias propostas	208
4.5.3 Toma de datos	209
4.5.4 Ferramenta de análise de datos	211
4.5.5 Resultados e discusión	213
4.5.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo D (EC2)	213
4.5.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo E (EC2)	224
4.5.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo F (EC2)	234
4.5.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo D (EC2)	241
4.5.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo E (EC2)	249
4.5.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo F (EC2)	255
4.5.5.7. Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 2 (EC2)	265
5 MODELOS ACTIVADOS POLO ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ACERCA DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DA MATERIA	269
5.1 INTRODUCCIÓN	269

5.2 MARCO TEÓRICO	270
5.2.1 Características dos modelos empregados polo alumnado para explicar os cambios químicos	270
5.2.2 Progresións de aprendizaxe acerca da natureza da materia e as súas transformacións	275
5.3 OBXECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	280
5.4 ESTUDO DE CASOS 3 (EC3): ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA EN ESPAÑA	280
5.4.1 Participantes e contexto	280
5.4.2 Descrición das experiencias propostas.....	283
5.4.3 Toma de datos	283
5.4.4 Ferramenta de análise de datos.....	285
5.4.5 Resultados e discusión	291
5.4.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo G (EC3)	291
5.4.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo H (EC3)	300
5.4.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo I (EC3)	308
5.4.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo G (EC3)	315
5.4.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo H (EC3)	323
5.4.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo I (EC3).....	332
5.4.5.7 Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 3 (EC3)	342
5.5 ESTUDO DE CASOS 4 (EC4): ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA EN SUECIA	349
5.5.1 Participantes e contexto	349
5.5.2 Descrición das experiencias propostas	353
5.5.3 Toma de datos	353
5.5.4 Ferramenta de análise de datos.....	356
5.5.5 Resultados e discusión	356
5.5.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo L (EC4)	357

5.5.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo M (EC4)	363
5.5.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo N (EC4)	371
5.5.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo L (EC4)	377
5.5.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo M (EC4)	386
5.5.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo N (EC4)	394
5.5.5.7 Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 4 (EC4)	401

6 COMPARATIVA DAS INTERPRETACIÓNS ACERCA DE FENÓMENOS NOS QUE A MATERIA SE TRANSFORMA.....411

6.1 INTRODUCCIÓN	411
6.2 MARCO TEÓRICO	412
6.2.1 Presencia das materias de ciencias no currículo	412
6.2.2 Tratamento das transformacións na materia no currículo galego	417
6.2.2.1 Etapa de Educación Infantil	418
6.2.2.2 Etapa de Educación Primaria	422
6.2.2.3 Etapa de Educación Secundaria Obrigatoria	427
6.2.3 Tratamento das transformacións na materia no currículo sueco	431
6.2.4 Tratamento das transformacións na materia no currículo estadounidense	435
6.2.5 Tratamento das transformacións na materia no currículo nova celandés	439
6.2.6 Análise comparativa de currículos con relación á materia e as súas transformacións	442
6.2.6.1 Estrutura da materia	442
6.2.6.2 Conservación da materia	445
6.2.6.3 Propiedades da materia	446
6.2.6.4 Cambios físicos da materia	449
6.2.6.5 Cambios químicos da materia	454
6.3 OBOJECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	460
6.4 COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASOS EC1, EC2 E EC3	461
6.4.1 Combustión dunha candea	461

6.4.2 Descomposición térmica do azucre.....	475
6.5 COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASOS EC3 E EC4.....	486
6.5.1 Combustión dunha candeia	486
6.5.2 Descomposición térmica do azucre.....	492
III CONCLUSIÓN	501
7 CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS	503
7.1 INTRODUCTION	503
7.2 CONCLUSIONS	505
7.3 EDUCATIONAL IMPLICATIONS	524
REFERENCIAS	533
ANEXO: CONTIDO PUBLICADO	579



SUMMARY

The objective of this thesis was to analyse the students' achievements during modelling and when using evidence-based competencies to interpret everyday phenomena in which transformation of matter occurs; for example, a burning candle or the thermal decomposition of sugar. Both of these phenomena are closely related to the concept of matter. A proper understanding of matter and its transformations is necessary in order for students to be able to fully comprehend certain phenomena that exist in our environment such as combustion, photosynthesis, respiration, or the carbon cycle, and, likewise, this understanding enables them to make sense of other phenomena such as climate change and participate in decision-making processes on issues that pose a challenge to current society.

In recent decades, a large number of investigations that address students' ideas and models on matter and its transformations have been developed. Despite not being an unexplored domain, what makes this study particularly relevant is the fact that it required students to engage in discursive practices about everyday phenomena, with the aim being to evaluate the nature of their models, as well as to determine how these initial models could be modified to give the students the opportunity to predict, observe, explain, and discuss what is happening. Modelling, which is understood as the construction, use, evaluation and revision of models, constitutes an essential scientific practice for developing scientific knowledge, and, as such, this research paper was framed on this approach.

The participants' engagement in scientific practices in terms of the use and development of models and of evidence in the conceptual domain of matter and its transformations has been explored through four overarching research objectives:

Objective 1 (O1). *To describe the types of explanations that Early Childhood Education participants and Primary Education participants construct when interpreting phenomena in which transformation of matter occurs.* This objective was addressed through the following research questions:

RQ1. What types of explanations do Early Childhood Education participants and Primary Education participants use when interpreting phenomena in which transformation of matter occurs?

RQ2. To what extent can the explanations of the Early Childhood Education participants and Primary Education participants be considered as indicators of the existence of a precursor model about transformations of matter?

Objective 2 (O2). *To identify the mental models that secondary education participants use when interpreting phenomena in which transformation of matter occurs.* This issue was examined through the following research questions:

RQ3. Which mental models are used by secondary education participants to predict and explain phenomena in which transformation of matter occurs?

RQ4. To what extent do observation, reflection, and discussion about phenomena in which the transformation of matter occurs contribute to the development of the participants' initial mental models?

Objective 3 (O3). *To compare the explanations and models that participants from the pre-compulsory (Early Childhood Education) and Compulsory Educational stages (Primary Education and Compulsory Secondary Education) in Spain activate when interpreting everyday chemical changes.* This objective has been explored through the following research questions:

RQ5. Are there any differences between the ideas and models that the participants of the Spanish educational system activate when interpreting everyday chemical changes throughout their formal learning?

RQ6. How do the ideas of the participants from the Spanish educational system on transformations of matter develop throughout their formal learning?

Objective 4 (O4). *To evaluate to what extent the curriculum design favours the participants' appropriation of a chemical change model, which is comparable to the model of school science.* This objective has been addressed through the following research questions:

RQ7. Are there any differences between the achievements of the participants in the last year of Compulsory Education in Spain and Sweden when interpreting everyday chemical changes?

RQ8. To what extent can the curriculum design favour the participants' appropriation of a chemical change model, which is comparable to the model of school science?

Theoretical Framework

The study was framed into three bodies of knowledge: 1) science learning from a sociocultural perspective; 2) scientific competences and their relationship with scientific practices, focusing especially on the dimension which is related to explaining phenomena; and 3) models and modelling in science learning. Moreover, the theoretical framework included a systematic review of the literature that deals with students' conceptions and models on matter and its transformations.

Science learning from a sociocultural perspective

Aikenhead (2001) understands culture as an ordered system of meanings and symbols that are socially negotiated through interaction.

Aligned with this view, the students' understanding of the world can be seen as a cultural phenomenon, and, as such, science learning can be seen as the acquisition of a culture (Aikenhead, 2001).

This conception of science learning, which is based on immersion in a certain culture, and which is far removed from the Piagetian perception of students as "little scientists" who actively construct knowledge individually through interaction with their environment, also constitutes the reference framework of other authors.

The sociocultural perspective of science learning recognises that engaging students in discursive practices in the context of relevant tasks facilitates their immersion in the science subculture (Driver, Asoko, Leach, Scott & Mortimer, 1994). In order to recognise the contribution of discursive practices in science classes, it is important to consider that in science practice students are offered opportunities to propose and discuss ideas, as well as to evaluate and choose between explanations and alternative models once the available evidence has been considered (Jiménez-Aleixandre & Díaz, 2003).

Scientific competence and scientific practices

According to the Programme for International Student Assessment (PISA) framework, scientific competence is defined as the capacity to use scientific knowledge to identify questions and to draw evidence-based conclusions, in order to understand and help make decisions about the world (OECD, 2000). In PISA 2015, scientific competence was structured in three main sub-competences:

- Explain phenomena scientifically.
- Evaluate and design scientific enquiry.
- Interpret data and evidence scientifically.

According to Jiménez-Aleixandre, Bravo and Puig (2009), these sub-competences are closely related if we consider that being able to evaluate and design a scientific investigation implies being able to provide ways to approach questions in a scientific manner. This therefore requires for phenomena to be explained based on the most appropriate evidence available. On the other hand, by providing opportunities to analyse the interpretation of a phenomenon it is

possible to develop skills in which evidence is used to justify conclusions and reason scientifically (McNeill & Krajcik, 2009).

Furthermore, the National Research Council (NRC, 2012) has stated that science is not a simple compilation of concepts and theories that reflect the current state of knowledge, but that it also involves a set of scientific practices that make it possible to expand and refine said knowledge. The use of the term practices looks to convey the idea that as well as being a process, science is also a product that is derived from the discussions and interactions on a social level that accompany the construction of scientific knowledge (Reiser, Berland & Kenyon, 2012). The NRC (2012) establishes eight scientific practices:

- Asking questions and defining problems.
- Developing and using models.
- Planning and carrying out investigations.
- Analysing and interpreting data.
- Using mathematics and computational thinking.
- Constructing explanations and designing solutions.
- Engaging in argument from evidence.
- Obtaining, evaluating, and communicating information.

These practices may be considered as a more detailed elaboration of the three sub-competencies of scientific competence.

This study focuses on the dimensions that refer to: (a) identifying, using, and generating explanatory models and representations; (b) making and justifying appropriate predictions; and (c) analysing and interpreting data and drawing appropriate conclusions.

Models and modelling in science learning

According to Gilbert, Boulter and Elmer (2000), a model is a representation of an idea, object, event, process, or system that is produced for a specific purpose. Permanent dialogue exists between the models and the represented phenomena, given that careful examination of the phenomenon's behaviour provides the necessary elements and relationships to develop a model, therefore making it possible to generate new explanations and issue predictions that can be tested with new data (Jim, Hokayem, Wang & Wei, 2016).

There are many different types of representational models. Mental models are understood as private and personal cognitive representations that are created by individuals, either alone, or as part of a community. Once these mental models have been placed in the public domain they are known as expressed models.

Alternative conceptions can be structured in alternative explanatory models or mental models (Gilbert et al., 2000), and these can prove extremely functional and coherent for the individuals who support them, even when these private and personal representations may be incompatible with, or contradict the scientific models (Reinfried & Tempelmann, 2014). Alternative models that offer great intrinsic coherence serve as structures for accommodating new information, nonetheless, these do not change substantially. Models are even more difficult to modify if they also possess certain extrinsic coherence, that is to say, if they have the potential to assimilate new information without radically changing the model (García-Rodeja & Lima, 2012).

The process of building, testing, evaluating and reconstructing models that deal with the functioning of certain aspects of the world is known as modelling (Gilbert & Justi, 2016; Justi, 2009). In recent years, consensus on considering modelling as a dynamic process instead of a linear one has been reached (e.g. Coll & Lajium, 2011).

The modelling process is not limited to adults. From an early age, children feel an innate desire and need to develop models that allow them to interpret the world around them. These initial models, which are known as precursor models, have a limited range of application and allow simple causal correlations to be established. However, precursor models constitute the basis for subsequent learning (Ravanis, 2017).

On the other hand, from a model-based perspective, the purpose of observation and experimentation is to help scientists decide which models best fit the real world aspects that they represent (Giere, 2001). In this sense, modelling can be conceived as an argumentative process in which a critical evaluation of models takes place, making it possible to determine the suitability of one or more alternative models

by considering their internal coherence and their correspondence with the available data (Böttcher & Meisert, 2011).

Systematic review of the literature in the conceptual domain of matter and its transformations

The systematic review protocol developed in this study follows the recommendations of Bennet, Lubben, Hogarth and Campbell (2005). A bibliographic search was conducted in the *Web of Science*, *ERIC*, *SCOPUS* and *Dialnet* databases, which include different publications in the educational field that were all required to meet minimum quality criteria. In order to identify relevant documents in these databases, a list of keywords was drawn up and search strings were constructed using the Boolean *AND*, *OR* and *NOT* operators.

Once the exclusion and inclusion criteria had been applied, the systematic review yielded a total of 185 potential publications that were submitted for analysis. Of these publications, 112 studies were published in the last ten years of the analysed period (1968-2017), and fifteen of the studies were more recent publications (2016-2017).

From 1968 until April 2018, a total of seven review articles, ten longitudinal studies, 63 cross-age studies and 105 studies developed in a single year were carried out. However, it is worth nothing that, despite the predominance of studies focusing on a specific year, since 2005, research studies that cover participants from different years or educational levels have become more and more frequent. This increase in the number of cross-age studies is linked to the growing interest in learning progressions.

In the different studies recurrent alternative conceptions have been identified, many of which are a consequence of the difficulties that are faced by students when attempting to interpret phenomena in which transformation of matter occurs in terms of the reorganisation of particles and bonds (Kypraios, Papageorgiou & Stamovlasis, 2014). With regards to the corpuscular nature of matter, young children tend to manifest a continuous view of matter. Around the age of ten years, the idea that matter is made up of particles begins to emerge, nonetheless, this tends to be attributed to macroscopic behaviour (Eilam, 2004; Stamovlasis, Papageorgiou & Tsitsipis, 2013). With

regards to the conservation of matter, an alternative idea that is strongly rooted among students, is that mass is not conserved in the transformations of matter in which gaseous substances intervene. In addition, the idea that energy is transformed into matter was common amongst students of different ages. With regards to changes of state, there is extensive literature that focuses on the phenomenon of vapourization. Several authors have also observed that among children aged from 7-11 years, the idea that liquid disappears because it has been absorbed by the walls of vessel (Papageorgiou, Johnson & Fotiades, 2008), or that it disappears because it has been moved to other places (e.g. Kenyon, Schwarz & Hug, 2008; Löfgren & Helldén, 2008) are especially recurrent. Furthermore, the idea that vapourization involves the breaking down of intramolecular bonds is strongly ingrained among students aged around 14 years, and this idea persists among trainee teachers. On the other hand, several authors observed that students of different ages tend to describe condensation in terms of the transmutation of substances. With regards to chemical changes, it has been observed that students are able to deny the existence of reactions in which a single reactant gives rise to different products (e.g. Carbonell & Furió, 1987; Eilks, Moellering & Valanides, 2007). Moreover, it was also apparent that students' interpretations of combustion were conditioned by the context, therefore meaning that whether they activated one explanatory model or another depended on the nature of the combustible material (BouJaoude, 1991).

Methodology, Context and Participants

This research was framed in a qualitative approach (Denzin & Lincoln, 1994) and it constituted a cross-age study (Martínez-González, 2007). As a result, the participants in this study were students from different educational levels and different educational system: fourteen children from the sixth year (5-6 years-old) of Early Childhood Education in Spain (Case Study 1, EC1), twelve children from the sixth year (11-12 years-old) of Primary Education in Spain (Case Study 2, EC2), ten children from the fourth year (15-16 years-old) of Compulsory Secondary Education in Spain (Case Study 3,

EC3) and twelve children from the ninth year (15-16 years-old) of Compulsory School in Sweden (Case Study 4, EC4).

In terms of the procedures and instruments that were used for data collection, these consisted of observation, open-ended questionnaires designed following a POE (Predict, Observe, Explain) teaching strategy (White & Gunstone, 1992), and group discussions. The discussions were recorded on audio and video files. The video recording was necessary in order to unequivocally identify the intervention of each participant, as well as to capture how the children interacted, both with the learning material and with their classmates. As a result, the richness of the data was found predominantly in the discourse of the group guided by the researcher, especially amongst the youngest participants given that their written productions were mainly drawings.

The sessions were transcribed in a literal way. In order to ensure that no information was lost, the exact transcripts of the dialogues were recorded, meaning that correcting grammatical errors or replacing terms with synonyms was not permitted. After the content had been transcribed, discourse analysis was carried out. In order to transform the video-recordings into useful data, the discourse transcripts were divided into episodes and conversational turns (Hogan, Nastasi & Pressley, 1999). The classification frameworks that had already been developed in previous studies were used to characterise the explanations given by Early Childhood and Primary Education participants regarding the phenomena. By using the analysis tool, the young children's explanations were divided into scientific, synthetic, naturalistic, and non-naturalistic explanations. From the interaction of data with the literature, the models used by Secondary Education participants to interpret chemical changes were identified. At first, categories that described the key ideas or elements of explanations (Fisher, 1998) that participants referred to in interventions related to the interpretation of the phenomena were generated. Then, after having considered both the elements of explanation and certain reference frameworks that had already been described in the literature (Andersson, 1990; Watson, Prieto & Dillon, 1997), the models that were expressed by the participants when

interpreting the phenomena were inferred. On the other hand, in order to determine the extent to which observation, reflection and discussion about the phenomena contributed to the progression of the participants' previous models, the relationship between the models and the progression in understanding chemical properties and changes, as suggested by Hadenfeldt, Liu and Neumann (2014), was determined. This progression, which starts from a naïve understanding of chemical properties and progresses towards a sound understanding of a chemical reaction as the reorganisation of particles and bonds, was also used to compare the interpretations of participants of different ages and from different educational systems.

Results

Explanations of Early Childhood and Primary Education students about phenomena in which matter is transformed

a) In terms of burning candles, our findings have demonstrated that the majority of the participants in Early Childhood Education (EC1) resorted to naturalistic explanations with the intervention of an agent during the three phases of the intervention, therefore confirming Martí's view (2012) that young children seek causes to make sense of everyday phenomena. During the prediction phase, the youngest participants referred to the following ideas:

- More than a third of the participants indicated that the vessel covering the candle would fog up. We considered it especially relevant that these children mentioned the formation of mist in the glass prior to observing the phenomenon. Three children indicated that the fogging was caused by smoke/fire, and three other children referred to small droplets hitting the walls of the vessels. These responses may suggest that they used ideas close to the conception of water changing from a vapour to a liquid state.

- The predictions of three of the participants indicated that the candle would go out because of the cold temperature inside the vessel.

- Two girls predicted that the candle would melt, giving a naturalistic explanation in which they referred to heat as the cause of the change. Four children gave a similar answer in which they mentioned that the glass would melt.

b) After observing and discussing the phenomenon of combustion, the preschool age participants (EC1) who had predicted that the candle would go out due to the cold temperature inside the vessel maintained this prediction throughout the intervention. As Ravanis, Papandreou and Kampeza (2013) observed, the development of ideas requires a cognitive conflict between observations and what children anticipate will happen.

c) After observing and discussing the phenomena of combustion, some of the participants in Early Childhood Education (EC1) mentioned that the candle went out because there was air inside the vessel or because air was entering the vessel from the outside. The idea that air is used to extinguish fires is common in children among this age group (Martí, 2012).

d) When the researcher asked the participants why the flame did not go out when the candle was left uncovered, surprisingly, two young children (EC1) actually mentioned the lack of air or oxygen.

e) After observing the phenomenon of combustion, some of the young children (EC1) continued to mention fogging in their answers.

f) With regards to the thermal decomposition of sugar, our findings show that the Early Childhood Education participants (EC1) tended to use agentic naturalistic explanations to justify the changes that they thought would occur when heating sugar. During the prediction phase, the youngest participants referred to the following ideas:

- Almost half of the young children (EC1) referred to sugar melting in their predictions. One boy and two girls pointed out that the sugar would break down. These interpretations were comparable to the modification model proposed by Andersson (1990).

- Two of the children referred to the idea that sugar would transform into water, giving answers that were comparable to the transmutation model (Andersson, 1990).

g) After observing and discussing the phenomenon of thermal decomposition, most of the youngest participants (EC1) constructed synthetic explanations. The participants mentioned that sugar would be transformed into other different substances such as honey, beer, or soft drinks, giving answers that were comparable to the transmutation

model (Andersson, 1990). Some of the young participants even mentioned that the sugar would burn, giving a synthetic explanation for the phenomenon. The difficulty in properly distinguishing between combustion and thermal decomposition has already been described in other works (e.g. Gabel, Stockton, Monaghan & MaKinster, 2001).

h) With regards to the burning candle, our findings indicate that almost all of the Primary Education (EC2) participants understood from the outset that in order to keep the candle lit, oxygen or air is required. Among the participants who mentioned this idea, some children gave answers that were similar to those included in Watson et al.'s transmutation model (1997), which referred to oxygen as a necessary component to "feed the flame" or to "keep the flame alive". When justifying their prediction that the candle would go out, another student gave an intentional non-naturalistic explanation, attributing a process that is inherent to living beings to the candle, stating that the candle would go out because it could not breathe.

i) After observing and discussing the phenomenon of combustion, some of the Primary Education participants (EC2) continued to contemplate the need for air or oxygen for the candle to burn. However, there was no evidence that the participants considered that there was a chemical interaction between wax and oxygen.

j) Two of the Primary Education participants (EC2) interpreted the appearance of drops on the vessel covering the candle as the transmutation of heat into water, and two participants considered the idea that oxygen had been transmuted into vapour. Nonetheless, it is interesting to note that three students explained that the fogging came from the smoke, and the same number of participants explained that the fogging was caused by steam from the wax or, more generically, from the candle. These responses seemed to suggest that the participants understood that the candle was the "source" of water vapour.

k) Most of the participants in Case Study 2 (EC2) considered that the wax had been burned. In addition, the participants were able to establish a relationship between the size of the vessel and the amount of oxygen that was contained inside.

l) With regards to the thermal decomposition of sugar, as in the case the Early Childhood Education participants, our findings seem to indicate that the majority of the Primary Education participants (EC2) tended to use agentive naturalistic explanations to justify the changes that they thought were taking place while the sugar was being heated. During the prediction phase, the participants referred to the following ideas:

- Nine children mentioned that the sugar would melt.
- One student indicated that the sugar would evaporate.
- Two students assumed that the sugar would be burned or roasted.

The first two answers were comparable to the modification model (Andersson, 1990).

m) The observation and discussion of the phenomenon in search of a plausible interpretation led to the construction of synthetic explanations. The Primary Education participants (EC2) also mentioned that the sugar would be transformed into other different substances. Six students in the observation phase and three students in the explanation phase mentioned that the sugar had been transmuted into caramel or Coca-Cola. The incidence of responses in which the idea that the sugar had burned or had been roasted also increased.

Models activated by Secondary Education students on processes in which matter is transformed

a) With regards to the burning candle, our findings showed that the majority of the Spanish participants (EC3) initially described the phenomenon in terms of transmutation (Andersson, 1990; Watson et al., 1997). The participants referred to oxygen as being necessary to “feed the flame” or to “keep the flame alive”, rather than mentioning any interaction between the wax and oxygen. Two of the girls predicted that the candle would go out due to the lack of oxygen.

b) The social interaction that was fostered through the challenging questions that were posed by the researcher led five Secondary Education participants in Spain to activate new models depending on the material on which their observation was focused. After looking at the wick, the participants stated that a chemical combustion reaction

had occurred. After looking at the wax, the participants indicated that the wax had undergone a transformation process in which it had melted. In general, they understood that the wax was used as an agent to slow down the wick's combustion.

c) With regards to the thermal decomposition of sugar, our findings indicated that the majority of the Secondary Education participants in Spain (EC3) initially described the phenomenon in terms of a modification or transmutation of the substance (Andersson, 1990). Two of the participants predicted that the sugar would dilate, and four participants indicated that the sugar would melt. Another two students mentioned that the sugar would transform into caramel.

d) Throughout the intervention, the observation, reflection, and discussion on the possible interpretation of the thermal decomposition phenomenon allowed for the progression of the Spanish participants' models. The confrontation of models between peers, and the attempt to fit the observations that had been made into their reasoning schemes, required for the students to reconstruct their previous models in order to eliminate contradictions and achieve greater explanatory power. Four of the Spanish participants described the phenomenon as a combustion. Another participant considered that a chemical interaction had taken place between sugar and oxygen to form different substances. Four of the participants constructed explanations that were consistent with the school science model. These students referred to the fact that a chemical change had occurred in the sugar, which led to the formation of other substances, clearly identifying water vapour as one of the products of the thermal decomposition.

e) With regards to a burning candle, our findings point out that most of the Secondary Education participants in Sweden (EC4) initially described the process in terms of transmutation (Andersson, 1990; Watson et al., 1997). Only two participants made predictions in which they referred to the fire triangle, emphasising the need for a chemical interaction to occur between the combustible material and the oxidant, and subordinating the maintenance of a combustion to the availability of these factors.

f) After observing the phenomenon of combustion, the previous models of five of the Swedish participants (EC4) evolved into more

sophisticated forms of reasoning. These participants incorporated an incipient idea of the chemical interaction between the oxygen and the wax or flame into their initial transmutation model, giving answers that were similar to those that Watson et al. (1997) included in a transition model between the transmutation model and the chemical reaction model.

g) With regards to the thermal decomposition of sugar, our findings indicated that around half of the Secondary Education participants in Sweden (EC4) initially described the phenomenon in terms of a modification of the substance. Six of the Swedish participants established that the sugar would melt and change colour. Another student initially described the phenomenon by ascribing macroscopic behaviour to the particles, noting that non-carbon atoms would evaporate. Surprisingly, four Swedish participants already suggested a chemical reaction model in which they considered the conservation of elements during a chemical transformation.

h) After observing the phenomenon of thermal decomposition, the previous models of around half of the Swedish participants evolved into more sophisticated forms of reasoning. Two of the participants that had initially described the phenomenon in terms of modification expressed a chemical reaction model in which certain alternative ideas that were consistent with the modification model were incorporated. These students' responses included the idea that sugar was transformed into other substances, that is to say water and coal, which corresponds to a macroscopic description of chemical change. At the same time, they incorporated ideas that were comparable to the modification model, considering the idea that water vapour comes from the evaporation of substances that were already present in the sugar. Another two Swedish participants ended up using a transition model between the transmutation model and the chemical reaction model. These students included the idea that hydrogen and oxygen combine to form water, but they also incorporated ideas that were comparable to the transmutation model, indicating that water vapour turned into smoke or even carbon dioxide. On the other hand, three students who had already initially activated a chemical change model that was consistent with the school science model, stuck with this

model throughout the intervention and even activated a microscopic interpretation scheme.

Comparison of interpretations about phenomena in which matter is transformed

a) Our findings suggest that, in general, from the sixth year of Early Childhood Education (5-6 years-old) to the sixth year of Primary Education (11-12 years-old), there was a remarkable progression in the interpretations made by participants when trying to make sense of a burning candle. Most of the youngest participants were at the lowest level of progression (N0) when giving descriptive answers or providing naïve justifications that were derived from relationships that had been established through everyday experiences rather than basing their justifications on their knowledge of school science. To the contrary, the majority of Primary Education participants reached the second level of progression (N2) giving responses that were comparable to the modification or transmutation models. However, from the sixth year of Primary Education (11-12 years-old) to the fourth year of Compulsory Secondary Education (15-16 years-old) there was a certain stagnation in the progression of their understanding of this chemical change, given that there were no significant differences between the responses given by the participants in both case studies. Even the results show a higher incidence among the responses given by the Primary Education participants of the element of explanation, making reference to the burning of wax.

b) With regards to the thermal decomposition of sugar, most of the Early Childhood Education participants (5-6 years-old) were at the second level of progression (N2), giving answers that were comparable to the transmutation or modification models. From Early Childhood Education (5-6 years-old) to Primary Education (11-12 years-old) there was a slight progression in the interpretations of this phenomenon. The responses of a greater proportion of participants, a total of four, reached a transition level (N2/3) between the transmutation model and the chemical reaction model, however, the majority of the Primary Education participants (EC2) remained at the second level of progression. With regard to participants from the

fourth year (15-16 years-old) of Compulsory Secondary Education, a notable progression was observed in their interpretation when compared to the other case studies, given that all of the students, except one, managed to reach the third level of progression (N3). Responses in this level were comparable to the chemical reaction model.

c) Regarding a burning candle, our findings indicated that there were no significant differences between the interpretations made by Secondary Education participants (15-16 years-old) in Spain (EC3) and Sweden (EC4). The predictions given in both case studies were quite hegemonious, although some of the Swedish participants exhibited a higher performance at the beginning of the intervention. Six out of the eight participants from Case Study 3 (EC3) and nine out of the twelve students from Case Study 4 (EC4) included in their predictions of the phenomenon, the idea that oxygen is necessary to “feed the flame” or “keep the flame alive”. These responses placed participants in the second level (N2) of progression. Two of the Swedish participants (EC4) reached the third level (N3) of progression, giving predictions that were comparable to a macroscopic chemical reaction model. Once the experiment had been developed, the Spanish participants (EC3) constructed explanations for more aspects of reality than the Swedish participants (EC4), who focused predominantly on the causes of the candle going out.

d) With regards to the thermal decomposition of sugar, our findings indicated that the majority of the Spanish and Swedish participants gave predictions in terms of a modification of the substance, reaching the second level (N2) of progression. However, it is worth noting that at the beginning of the intervention, four of the Swedish students had already reached the highest level (N3) of progression, demonstrating a higher performance than the Spanish participants. A girl from Case Study 4 (EC4) activated a macroscopic chemical reaction model, although she described the occurrence of the phenomenon as combustion. On the other hand, it was interesting to note how three of the Swedish students had already made a prediction that was compatible with scientific knowledge. After observing the phenomenon, almost all the participants in both case studies

constructed explanations for the thermal decomposition of sugar and the different aspects of the process in which the activation of a chemical reaction model was intuited.

Conclusions

The findings of the study allow us to reach the following conclusions:

Regarding the first research objective: 1) Early Childhood Education participants (EC1) tend to construct naturalistic explanations that incorporate the intervention of an external agent when interpret the burning of a candle inside an inverted vessel. 2) Through guided observation and discussion, some of the Early Childhood Education participants (EC1) were able to relate the lack of air or oxygen to the fact that the candle had gone out. 3) Most of the children in Early Childhood Education (EC1) identified that water vapour had been released during the phenomena, however they interpreted the water vapour as tiny drops of water, rather than considering that it constituted another state of matter which differs from the liquid state. 4) Among Primary Education participants (EC2) and Early Childhood Education participants (EC1), certain difficulties in reconciling the observations with the predictions were observed, resulting in a partial interpretation of the data or a distortion of their observations in order to match the prediction and support their initial ideas. 5) Both Early Childhood Education participants (EC1) and Primary Education participants (EC2) initially justified the changes that they thought would occur when sugar was heated up by constructing agentive naturalistic explanations, nonetheless, once they had observed the phenomenon, the participants resorted to synthetic explanations in which the idea that a substance had been transformed into different ones was evident. 6) Most of the Primary Education participants (EC2) understood that oxygen or air were required for the combustion of a candle, and they were able to determine that there was a connection between the size of the vessel covering the candle and the time the flame took to go out, although there was no evidence that they were thinking about the idea of a chemical interaction between the wax and oxygen. 7) Some of the Primary Education

participants (EC2) had difficulty in identifying that water vapour was a combustion product, providing explanations for the appearance of water on the vessel in terms of the transmutation of energy into another substance or the transmutation of one substance into a new one. 8) All of the Early Childhood Education participants (EC1) were in a position to build a precursor model on the transformation of matter, and all of the Primary Education participants (EC2) already have a precursor model in this conceptual domain.

Regarding the second research objective: 9) Most of the participants in Secondary Education in Spain (EC3) initially interpreted a burning candle in terms of transmutation or the disappearance of substances, although after observing and discussing the phenomenon, different models were activated to interpret this change, and this depended on the material of the candle that the participants were observing. 10) Most of the participants in secondary education in Spain (EC3) did not identify that the candle contained fuel, suggesting that wax is an agent that slows down the combustion process. 11) Most of the participants in secondary education in Spain (EC3) initially interpreted the thermal decomposition of sugar in terms of the modification of a substance, although after observing and discussing the phenomenon, most of them were able to activate a macroscopic model of chemical reaction. 12) Some of the participants in secondary education in Spain (EC3) struggled to understand transformations of matter in which a single reactive intervenes as being a chemical change, considering that in this case other substances should be incorporated. 13) Most of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) interpreted the combustion of a candle inside an inverted vessel in terms of transmutation, although after observing the phenomenon some of the participants incorporated ideas that were close to the chemical reaction model. 14) Around half of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) initially interpreted the thermal decomposition of sugar in terms of the modification of the substance, while the other half used a chemical reaction model that was consistent with the model of school science in which the activation of a microscopic interpretation scheme was intuited. 15) After observing

the phenomenon of thermal decomposition of sugar, most of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) expressed models that were close to the chemical reaction model used in school science. 16) A large proportion of the participants in secondary education in Spain (EC3) and of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) had difficulty in identifying water vapour as a combustion product, often associating the formation of mist on the walls of the vessel with the condensation of water vapour from the environment. 17) Some of the participants, regardless of their age, struggled to distinguish between combustion and thermal decomposition, considering that the black residues of thermal decomposition was evidence that the sugar had burned. 18) There is no single model for the interpretation of chemical changes that can be extended to any context. 19) The observation of the phenomenon and, especially the discussion around it promote the progression of existing models for interpreting chemical changes towards more sophisticated models.

Regarding the third research objective: 20) There is no single learning progression that describes how the participants' models around chemical changes evolve, however, the learning path depends on the phenomenon under analysis.

Regarding the fourth research objective: 21) The achievements of secondary participants in Spain (EC3) and Sweden (EC4) differed depending on the phenomenon that they were interpreting, with the students from both groups presenting comparable achievements when interpreting the burning candle inside the inverted vessel, however, the interpretations given by the Swedish participants regarding thermal decomposition were more favourable. 22) The introduction of a corpuscular model of matter to describe and explain macroscopic changes at an early age enables participants to acquire more skills that can be used to interpret phenomena in which transformation of matter occurs.

The educational implications that can be drawn from the results of this study are as follows: Firstly, the relevance of introducing science activities related to matter and its transformations in Early Childhood Education in order to promote the development of causal learning and

the development of a precursor model in this conceptual domain. This precursor model could lay the foundation for subsequent learning and be expanded through relevant science activities in which suitable data is provided (Koliopoulos, Christidou, Symidala & Koutsiouba, 2009). Inquiry-based science learning constitutes an appropriate approach, given that it promotes the observation, identification and formulation of questions, the establishment of hypothesis and their testing through the experimentation.

Secondly, taking into account the fact that students may struggle to understand that a chemical reaction can be triggered from a single reactive, examples of decomposition reactions should be introduced in the classroom, in order to enable students to build appropriate empirical references.

Thirdly, we agree with Watson et al. (1997) regarding the convenience of proposing experimental tasks in which students have to compare heating, -a process in which energy is transferred from an external source to the reactants-, with burning, -a process in which energy is released from the system to the surroundings during the chemical process-. Students were able to recognise the signs of a combustion and clearly distinguish this phenomenon from thermal decomposition.

Fourthly, teachers should be aware of the importance of modelling skills, and they should emphasise the relationship that exists between the macroscopic and the microscopic domain as a scientific understanding of chemical changes implies being able to think at these two levels. Moreover, it is important for students to acquire skills in the management of concepts such as atom, molecule, and chemical reaction, which are essential for building a model of chemical reaction that is generalisable to any situation and context.

Fifthly, it is important to propose science activities in which students have the opportunity to evaluate and revise their models and get involved in the discussions that arise during the modelling process. Giving them the opportunity to discuss their mental models with other students can help to make certain models of school science more accessible.

Sixthly, it is convenient to introduce the particle nature of matter at an earlier age. As Samarapungavan et al. suggested (2021), involving young children in activities that allow them to engage in practices that make sense of everyday phenomena and participate in a discourse-scaffolded about the interpretation of the phenomena could promote the construction of a simple particle model.



I FUNDAMENTACIÓN





1 INTRODUCCIÓN

Esta tese aborda o desenvolvemento dos procesos de modelización e uso de probas por parte dun grupo de estudantes de educación infantil, educación primaria, e estudantes do último curso da escolarización obrigatoria do sistema educativo sueco e español durante a interpretación de cambios químicos da vida diaria. Porén, este estudo pretende contribuír a incrementar o corpo de coñecemento actual acerca da participación do alumnado nas prácticas científicas relacionadas co uso e desenvolvemento de modelos, e co uso de probas no marco da construción de explicacións no seo dun contexto adscrito ao dominio da materia e as súas transformacións.

Nesta investigación impleméntase dúas actividades onde o alumnado ten a posibilidade de participar en prácticas discursivas ao interpretar fenómenos familiares nos que a materia se transforma, co gallo de avaliar a natureza dos modelos que activan os estudantes e como estes modelos se modifican ao dar ao alumnado a oportunidade de predicir, observar, explicar, e discutir o que sucede. Como sinalan Rocha e Bertelle (2007), o traballo experimental representa unha ferramenta moi poderosa na aprendizaxe das ciencias se durante o mesmo se outorga ao alumnado a posibilidade de que explore, reflexione, elabore explicacións, e compare os seus modelos e ideas coas aportadas mediante a experiencia. Ademais, outros autores como Ogborn, Kress, Martins e McGillicuddy (1998) consideran que, para que os estudantes participen no razoamento científico, han de introducirse fenómenos familiares no contexto da vida real dentro dunha diferente estrutura. Neste caso, unha estrutura baseada nas teorías e métodos da ciencia.

Neste capítulo preséntanse os antecedentes do estudo, os obxectivos de investigación e a organización da tese.

1.1 ANTECEDENTES DO ESTUDO

A modelización, entendida como a construción, o uso, e a avaliación e revisión de modelos, constitúe unha práctica científica básica no desenvolvemento do coñecemento científico (Bamberger & Davis, 2013). Segundo Krajcik & Merrit (2012), un ensino das ciencias baseado na práctica científica de modelización implica conceder ao alumnado a oportunidade de construír e revisar os seus modelos de acordo coas novas evidencias que van xurdindo co obxectivo de poder predicir e explicar fenómenos. O feito de involucrar aos estudantes en prácticas científicas auténticas como a modelización facilita tanto a asimilación das ideas centrais da ciencia, como a adquisición de coñecemento epistemolóxico e experiencia acerca de como se constrúen e se avalían ditas ideas (Acher, 2014).

Esta tese vai na liña desta corrente no eido da didáctica das ciencias, pois ten como principal obxectivo coñecer a natureza dos modelos que diferentes grupos de estudantes activan cando interpretan fenómenos familiares nos que a materia se transforma, e avaliar como van mudando os modelos iniciais do alumnado mediante a observación e a discusión. A modelización esixe transitar entre o pensamento científico e o pensamento cotián que o alumnado tende a aplicar aos fenómenos do mundo real (Merino & Izquierdo, 2011).

Os fenómenos nos que se basea esta investigación foron a combustión dunha candeia e a descomposición térmica do azucre, os cales están estreitamente ligados co concepto de materia. Este concepto resulta esencial na aprendizaxe da Química como tal disciplina que se ocupa do estudo da composición, propiedades e cambios que atinxen á materia (Adbo & Taber, 2009). Asemade, unha comprensión adecuada da materia e as súas transformacións é necesaria para entender diversos fenómenos do noso entorno como os procesos de combustión, a fotosíntese, a respiración ou o ciclo do carbono, de aí que a materia se considere un concepto clave en ciencia (Hadenfeldt, Neumann, Bernholt, Liu & Parchmann, 2016; NRC, 2012), e de aí que capacite aos estudantes para entender outros fenómenos como o cambio climático e participar de forma activa e responsable na toma de decisións sobre cuestións que supoñen un desafío para a sociedade actual (Hadenfeldt et al., 2016).

Ante os cambios profundos e xeneralizados que están a suceder no noso mundo e ante os desafíos ambientais, sociais e económicos que han de afrontar as sociedades actuais, existe un crecente recoñecemento acerca da necesidade de repensar os obxectivos da educación e as competencias que os estudantes necesitan desenvolver para converterse en axentes dinámicos do cambio (OECD, 2019). En virtude destas demandas da sociedade actual, a Organización para a Cooperación e o Desenvolvemento Económico (OCDE) puxo en marcha o proxecto relativo ao *Marco de Aprendizaxe 2030-Compás 2030* no que o termo competencia se define en termos holísticos como unha combinación de coñecementos, destrezas, actitudes e valores que os individuos necesitan para transformar a sociedade na procura dun futuro máis humano e sostible (OECD, 2019).

Este marco de aprendizaxe da OCDE alíñase cos 17 Obxectivos de Desenvolvemento Sostible (ODS) das Nacións Unidas. Ante a situación de emerxencia planetaria na que nos atopamos actualmente por mor dun desenvolvemento económico baseado nunha explotación inxente dos recursos naturais que derivou nun deterioro do medio ambiente, nunha perda de biodiversidade e en grandes desigualdades entre países, a Organización das Nacións Unidas (ONU) aprobou no ano 2015 a *Axenda 2030* na que se inclúen 17 Obxectivos de Desenvolvemento Sostible (ODS) (Nacións Unidas, 2020). A principal finalidade deste acordo mundial consiste en promover unha visión compartida de futuro para abordar e dar resposta de maneira conxunta aos principais retos aos que se enfronta a humanidade para transitar cara unha senda máis sostible (Nacións Unidas, 2020). Entre os obxectivos que contempla a *Axenda 2030* figuran a adopción de medidas urxentes para combater o cambio climático e os seus efectos (ODS13), e o garante dun ensino inclusivo e equitativo de calidade (ODS4).

En virtude deste contexto, xorden diversas cuestións acerca de como atender a estes e outros obxectivos da *Axenda 2030* e do *Compás 2030* desde o ámbito da didáctica das ciencias, ou como integrar estes obxectivos desde as materias de ciencias para facilitar que os estudantes nun futuro constitúan axentes dinámicos de cambio.

Diversos estudos (e.g. Varela, Sesto & García-Rodeja, 2020) poñen de manifesto as dificultades dos estudantes para definir as causas e consecuencias do cambio climático. A existencia de concepcións alternativas arredor deste problema ambiental constitúe un obstáculo de cara a redefinir a nosa relación co medio ambiente e desenvolver cambios sistémicos que permitan convertermos nunha sociedade con baixa emisión de gases de efecto invernadoiro (Nacións Unidas, 2020). Para mellorar a comprensión dos sistemas ambientais, diversos autores como Cho e Anderson (2006) apuntan a unha necesidade de empregar de forma adecuada as explicacións baseadas en modelos para describir os procesos macroscópicos, por exemplo os procesos de combustión, en termos do modelo de partículas. Nesta liña, espérase que desta tese se deriven un conxunto de implicacións educativas que faciliten o establecemento de prácticas e modelos de ensino que permitan aos estudantes superar a desconexión existente entre ambos esquemas de representación da materia. Isto favorecería que nun futuro se atopasen en condicións de afrontar con éxito retos tan importantes como entender as estratexias para diminuír as emisións de gases de efecto invernadoiro, ou entender como facer un mellor uso dos recursos naturais.

E, polo tanto, innegable a importancia deste dominio conceptual, de aí que a materia e as súas transformacións xa ocuparan desde hai anos un papel central na investigación en didáctica das ciencias, e así o reflicten os numerosos estudos publicados nas últimas décadas (e. g. Kermen & Méheut, 2011; Méheut, Saltiel & Tiberghien, 1985; Merrit, Krajcik & Shwartz, 2008; Sanmartí, Izquierdo & Watson, 1995; Watson, Prieto & Dillon, 1997; Yan & Talanquer, 2015). A maioría destes estudos concordan en que un dos principais obstáculos para comprender o concepto de materia radica precisamente nas dificultades coas que se atopa o alumnado para establecer unha relación entre o teórico mundo atómico e subatómico, e o tanxible mundo macroscópico (Adbo & Taber, 2009).

Malia a gran cantidade de estudos sobre os diferentes aspectos do ensino e a aprendizaxe da materia e as súas transformacións e, en concreto, sobre as ideas e os modelos explicativos dos estudantes, a pertinencia e orixinalidade deste traballo radica en que esta

investigación non se limita exclusivamente a detectar a natureza das concepcións e modelos sobre o cambio químico que exhibe o alumnado, senón que ademais describe como a observación, a reflexión e a discusión arredor dos fenómenos poden repercutir na evolución cara modelos máis apropiados desde o punto de vista da ciencia escolar. Como sinalan Gómez-Crespo e Pozo (2000), pese a que o concepto de materia constitúe unha idea central na comprensión da Química, non existen moitas investigacións que analicen, máis alá dunha descrición xeral das concepcións alternativas dos estudantes, os diversos modelos activados e as variables que inflúen nesa activación. Asemade, cómpre destacar que nesta investigación se exploran as ideas e modelos do alumnado dos cursos terminais das etapas de educación infantil, primaria e secundaria no eido dos cambios químicos. A comprensión dos estudantes acerca da materia e as súas transformacións foi amplamente estudada nas últimas décadas, cubrindo un amplo rango de idades desde primaria ata os niveis universitarios. Sen embargo, poucas investigacións foron desenvolvidas con alumnado da etapa de infantil, probablemente por considerar que se trata de contidos demasiado sofisticados ou pouco accesibles a estudantes de curta idade.

1.2 OBXECTIVOS DE INVESTIGACIÓN

O principal propósito deste estudo consiste en coñecer os procesos de modelización e uso de probas que desenvolven un grupo de estudantes de educación infantil, de educación primaria, e do último curso da escolarización obrigatoria do sistema educativo sueco e español durante a interpretación de fenómenos cotiáns nos que a materia experimenta unha transformación de tipo químico, como a combustión dunha candeia e a descomposición térmica do azucre.

Para abordar esta cuestión, este obxectivo xeral desagregouse en catro obxectivos de investigación (O1 a O4) coas conseguíntes preguntas de investigación (RQ1 a RQ8).

Obxectivo 1 (O1). *Descrivir os tipos de explicacións que os participantes de Educación Infantil e Primaria constrúen para interpretar fenómenos nos que a materia se transforma.* Este

obxectivo concrétase a través das seguintes preguntas de investigación:

RQ1. Que tipos de explicación usan os participantes de Educación Infantil e Primaria cando interpretan fenómenos nos que a materia se transforma?

RQ2. En que medida as explicacións dos participantes de Educación Infantil e Primaria se poden considerar manifestacións da existencia dun modelo precursor acerca das transformacións na materia?

Obxectivo 2 (O2). *Identificar os modelos mentais que empregan os participantes da educación secundaria para interpretar fenómenos nos que a materia se transforma.* Este obxectivo explórase a través das seguintes preguntas de investigación:

RQ3. Que modelos mentais empregan os participantes de educación secundaria para predicir e explicar fenómenos nos que a materia se transforma?

RQ4. En que medida a observación, a reflexión e a discusión sobre os fenómenos nos que a materia se transforma contribúen a unha evolución dos modelos mentais iniciais dos participantes?

Obxectivo 3 (O3). *Comparar as explicacións e os modelos que activan os participantes das etapas pre-obrigatoria (Educación Infantil) e obrigatorias (Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria) do sistema educativo español ao interpretar cambios químicos cotiáns.* Este obxectivo desagregase nas seguintes preguntas de investigación:

RQ5. Existen diferenzas entre as ideas e os modelos que activan os participantes do sistema educativo español ao longo da educación formal ao interpretar cambios químicos cotiáns?

RQ6. Como progresan as ideas dos participantes do sistema educativo español acerca das transformacións na materia ao longo da educación formal?

Obxectivo 4 (O4). *Avaliar en que medida o deseño do currículo favorece a apropiación por parte dos participantes dun modelo para o cambio químico comparable ao modelo da ciencia escolar.* Este obxectivo abórdase mediante as seguintes preguntas de investigación:

RQ7. Existen diferenzas no desempeño dos participantes do último curso da educación obrigatoria do sistema educativo de España e Suecia ao interpretar cambios químicos cotiáns?

RQ8. En que medida o deseño do currículo pode favorecer a apropiación por parte dos participantes dun modelo para o cambio químico comparable ao modelo da ciencia escolar?

1.3 ORGANIZACIÓN DA TESE

A tese está organizada en tres grandes partes. A fundamentación teórica, que abrangue os capítulos un a tres; os resultados, que comprenden os capítulos catro a seis; e as conclusións, que constitúen un único capítulo final (ver Figura 1.1). As dúas primeiras partes están redactadas en galego e a última en inglés. Cada un dos capítulos que integran a tese pretenden ter sentido en si mesmos, de aí que poida repetirse certa información.

No primeiro capítulo, *Introdución*, preséntanse brevemente os antecedentes e a relevancia deste estudo dentro do ámbito da didáctica das ciencias experimentais, así como os obxectivos e as preguntas de investigación.

No segundo capítulo, *Marco teórico*, discútase o corpo de coñecemento no que se sustenta a tese: (1) a aprendizaxe das ciencias desde unha perspectiva social, que basea a adquisición de coñecemento na enculturación do alumnado no discurso científico da aula; (2) a competencia científica e a súa relación coas prácticas científicas, situando o foco de interese na dimensión relativa á explicación de fenómenos, e a relación existente entre a construción de explicacións e o uso de probas; (3) os modelos dos estudantes no

ensino das ciencias, centrando a atención nos modelos mentais, e no proceso involucrado na construción, uso e revisión de modelos; e (4) os modelos e concepcións básicas dos estudantes no eido da materia e os seus cambios descritos en traballos previos a través dunha revisión sistemática da literatura.

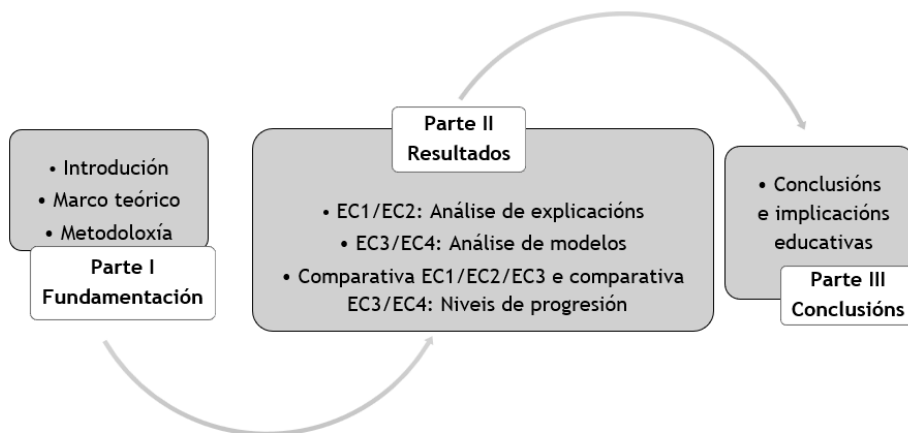


Figura 1.1. Esquema de organización da tese

No terceiro, *Metodoloxía*, descríbese o tipo de investigación levada a cabo, que se enmarca dentro dos estudos cualitativos. En primeiro lugar sinálanse as características deste enfoque metodolóxico e, en concreto, faise referencia aos estudos de casos múltiples e aos estudos de corte transversal. Posteriormente, menciónanse os suxeitos do estudo, e as ferramentas de recollida e análise de datos, para rematar cunha breve mención aos aspectos éticos e legais a ter en conta naquelas investigacións nas que participan persoas.

Os seguintes capítulos, do cuarto ao sexto, correspóndense aos resultados.

O cuarto capítulo, *Explicacións do alumnado de Educación Infantil e Primaria acerca de fenómenos nos que a materia se transforma*, intenta dar resposta ás preguntas de investigación RQ1 e RQ2 correspondentes ao Obxectivo 1 do estudo. Neste capítulo preséntase os resultados obtidos tras analizar a natureza das

explicacións que varios grupos de participantes de infantil e primaria constrúen ante a posibilidade de interpretar fenómenos nos que a materia se transforma.

O quinto capítulo, *Modelos activados polo alumnado de educación secundaria acerca de procesos de transformación da materia*, intenta dar resposta ás preguntas de investigación RQ3 e RQ4 correspondentes ao Obxectivo 2 da tese. Neste capítulo inclúense os resultados obtidos tras explorar os modelos que activan os participantes deste nivel educativo cando interpretan fenómenos da vida diaria nos que a materia se transforma, para posteriormente coñecer en que medida a observación, a reflexión e a interacción social durante a interpretación de ditos cambios contribúen a unha evolución dos modelos iniciais dos participantes. Neste capítulo, analízanse os datos procedentes de alumnado de dous sistemas educativos, o español e o sueco.

O sexto capítulo, *Comparativa das interpretacións acerca de fenómenos nos que a materia se transforma*, céntrase nos Obxectivos 3 e 4 para intentar dar resposta ás preguntas de investigación RQ5, RQ6, RQ7 e RQ8 desta tese. Neste capítulo preséntanse os resultados derivados do contraste de explicacións e modelos que activaron os participantes do sistema educativo español, para despois coñecer como progresan as ideas dos estudantes españois ao longo da educación formal. Asemade, neste capítulo preséntanse os resultados derivados do contraste de modelos que activaron os participantes do sistema educativo sueco e español, para despois coñecer se existen diferenzas no desempeño de ambos grupos de participantes e como o deseño do currículo pode favorecer ou limitar a apropiación por parte do alumnado dun modelo para o cambio químico comparable ao modelo da ciencia escolar.

Por último, no sétimo capítulo, *Conclusións e implicacións educativas*, discútnense as conclusións derivadas dos resultados da investigación e as implicacións educativas máis relevantes. Tamén se sinalan as limitacións do estudo, relacionados principalmente co enfoque metodolóxico adoptado, e suxírense posibles liñas de investigación futuras.



2 MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Neste capítulo preséntase o marco teórico sobre o que se vertebra este estudo. Nunha primeira parte descríbese o corpus de coñecemento no que se sustenta esta tese procedente de diversas áreas de didáctica das ciencias. Na segunda parte deste capítulo preséntase unha revisión sistemática da literatura acerca dos modelos e concepcións básicas dos estudantes acerca da materia e as súas transformacións.

2.2 CORPUS DE COÑECIMENTO NO EIDO DE DIDÁCTICA DAS CIENCIAS

Neste apartado descríbese, en primeiro lugar, a aprendizaxe das ciencias desde unha perspectiva sociocultural, que basea a adquisición de coñecemento na enculturación dos estudantes no discurso científico da aula. En segundo lugar, abórdase o concepto de competencia científica e a súa relación coas prácticas científicas, centrando especialmente a atención na dimensión relativa á explicación de fenómenos. En terceiro e último lugar, descríbese a relevancia dos modelos no ensino da ciencias, facendo fincapé nas representacións privadas e persoais de cada individuo e o proceso involucrado na construción, uso e revisión de modelos.

2.2.1 Perspectiva social da aprendizaxe das ciencias

Aikenhead (1996) suxire que a aprendizaxe das ciencias implica unha inmersión e aceptación da cultura científica. Entendéndose a cultura como un sistema ordenado de significados e símbolos negociados socialmente a través da interacción, a comprensión do mundo por parte dos estudantes pode verse como un fenómeno cultural, e a aprendizaxe das ciencias pode verse como a adquisición dunha cultura (Aikenhead, 2001). Esta aproximación cultural da aprendizaxe das ciencias implica que os estudantes se involucren en negociacións culturais que faciliten a transición desde diferentes subculturas como a familiar, das que emana un coñecemento intuitivo

do mundo natural, cara a aceptación das normas, os valores, as crenzas e as convencións da subcultura da ciencia (Aikenhead, 2001).

Esta concepción da aprendizaxe das ciencias baseada na inmersión nunha determinada cultura e afastada da percepción Piagetiana dos estudantes como “pequenos científicos” que constrúen activamente o coñecemento de maneira individual a partir da interacción co seu entorno constitúe tamén o marco de referencia doutros autores (e. g. Driver, Asoko, Leach, Scott & Mortimer, 1994; Lemke, 1990; Lemke, 2001; Ogborn et al., 1998).

Lemke (2001) contempla o proceso de construción de coñecemento científico como a “enculturación” do alumnado nunha comunidade de persoas que comparten a linguaxe da ciencia. Para Lemke (1990) a linguaxe constitúe un sistema de recursos que permite construír significados, e engade que coñecer “o idioma” da ciencia leva aparelado facer ciencia a través da propia linguaxe. Para este autor, falar sobre ciencia implica desenvolver prácticas propias do traballo científico como poden ser a observación, a formulación e comparación de hipóteses alternativas, ou o deseño de investigacións.

Partindo da base de que o coñecemento científico entendido como un coñecemento construído e aceptado socialmente ten importantes implicacións de cara a aprendizaxe das ciencias e seguindo a liña de Lemke (1990), outros autores (e.g. Driver et al., 1994) tamén suxiren que para aprender ciencias é necesario introducir ao alumnado nas prácticas da comunidade científica a fin de que esas prácticas se convertan en significativas a nivel individual. Dentro deste contexto, diversos autores (e. g. Driver et al., 1994; Lemke, 1990; Lemke, 2001) sinalan que o profesorado ha de exercer a función de facilitador da aprendizaxe introducindo ao alumnado na subcultura da ciencia de xeito que este se apropie dos conceptos e modelos socialmente aceptados pola comunidade científica.

Esta perspectiva social da aprendizaxe reconece, en concreto, que a participación en prácticas de tipo discursivo no contexto de tarefas relevantes facilita a inmersión do alumnado na subcultura da ciencia (Driver et al., 1994), de aí que as clases de ciencias se deban converter en comunidades de aprendizaxe onde se xere e se use o coñecemento (Jiménez-Aleixandre & Díaz, 2003). Para recoñecer a contribución

das prácticas discursivas nas clases de ciencias é necesario comprender que facer ciencia implica conceder oportunidades de propor e discutir ideas, así como avaliar e elixir entre explicacións e modelos alternativos (Jiménez-Aleixandre & Díaz, 2003). O feito de crear ambientes de aprendizaxe efectivos onde se dea a posibilidade de reflexionar e de discutir ideas é fundamental para desenvolver unha comprensión da natureza da ciencia e apropiarse dos elementos sintácticos, pragmáticos e semánticos da linguaxe da ciencia (Duschl & Osborne, 2002).

Jiménez-Aleixandre (2003) suxire que os procesos comunicativos que se establecen na aula de ciencias son desencadeados mediante a existencia ou a creación de diferencias de coñecemento. Segundo o marco teórico proposto por Ogborn et al. (1998), a creación de diferencias de coñecemento ou de tensión semiótica implica confrontar ao alumnado cos seus propios coñecementos, enfrontándoos a situacións ou fenómenos que non son quen de explicar ou ben creando un conflito entre o que esperan que suceda e o que observan (Jiménez-Aleixandre, 2003).

A aprendizaxe das ciencias implica introducir ao alumnado en formas de pensar e de entender o mundo que difiren das interpretacións ou explicacións que funcionan no contexto da vida diaria. Non obstante, varios autores (e. g. Driver et al., 1994; Solomon, 1988) sinalan que a “enculturación” do alumnado nas prácticas discursivas da comunidade científica non implica abandonar por completo as representacións pertencentes ao ámbito familiar. Redfors e Holgersson (2006) observaron que incluso as explicacións que constrúen os mestres en formación para un mesmo fenómeno son altamente dependentes do contexto, podendo activar en función da situación un coñecemento intuitivo ou un coñecemento máis próximo ao da ciencia escolar. Asemade, Solomon (1988) engade a problemática de que hai termos como “traballo” ou “calor” (e.g. Domínguez, 2007) que a linguaxe científica comparte coa linguaxe da vida diaria, o que pode alterar a comprensión de certos conceptos científicos de incorporar as asociacións comúns que se fai deles. Conscientes de que os estudantes posúen dous tipos de coñecemento, un coñecemento cotián e un coñecemento científico, Solomon (1989)

suxire implicar ao alumnado na resolución de situacións problemáticas próximas ao mundo real facendo fincapé no límite entre o coñecemento pertencente ao dominio da vida diaria e o coñecemento científico.

2.2.2 As competencias e as prácticas científicas

A introdución do termo “competencia” no sistema educativo ten a súa orixe no Consello Europeo de Lisboa do ano 2000, onde a Unión Europea decretou como obxectivo unificar as capacidades a adquirir polos estudantes ao longo da escolarización obrigatoria, co fin de garantir a equidade na formación dos cidadáns e cidadás a pesar das diferencias entre os sistemas educativos dos distintos estados membros, e de adaptar a educación ás necesidades e demandas da sociedade do coñecemento (Hozjan, 2009).

Sen embargo, esta preocupación por determinar e comparar o grao de desempeño de estudantes de diferentes países xa se manifestara no ano 1997, cando os países membros da OCDE (Organización para a Cooperación e o Desenvolvemento Económico) iniciaron o programa PISA (*Programme for International Student Assessment*) coa finalidade de avaliar se ao final da escolarización obrigatoria os estudantes adquiriran os coñecementos e as destrezas necesarias para unha participación plena na sociedade (OECD, 2002). Este programa de avaliación internacional, que abarca as áreas de competencia lectora, matemática e científica, foi aplicado por primeira vez no ano 2000 a estudantes de 15 anos integrados no sistema educativo de 28 países membros da OCDE, e desde entón realízase cunha periodicidade trienal.

Do programa PISA derivou o proxecto DeSeCo (*Definition and Selection of Key Competences*) coa intención de proporcionar un marco de referencia para estender a longo prazo esta avaliación a novos dominios de competencia, así como desenvolver, a través dun enfoque interdisciplinario e colaborador, indicadores das competencias necesarias para afrontar satisfactoriamente os desafíos actuais e futuros (Rychen & Salganik, 2003). No informe DeSeCo (OECD, 2002) definiuse a competencia nos seguintes termos:

A capacidade de responder a demandas complexas e de levar a cabo tarefas diversas de maneira axeitada. Supón unha combinación de habilidades prácticas, coñecementos, motivación, valores éticos, actitudes, emocións e outros compoñentes sociais e de comportamento que se mobilizan conxuntamente para lograr unha acción eficaz (p. 4).

Ademais, no informe DeSeCo proporcionouse unha selección de competencias clave, clasificadas en tres grandes categorías (OECD, 2002): (1) usar ferramentas de maneira interactiva para ser quen de establecer interaccións co ambiente; (2) comunicarse con outros individuos; e (3) actuar de maneira autónoma.

Deste entón, nos últimos anos, numerosas institucións desenvolveron as súas propias definicións de competencias a acadar polos estudantes (Mishra & Kereluik, 2011). Na recomendación do Parlamento Europeo e do Consello da Unión Europea do ano 2006 defínese a competencia como aquela combinación de coñecementos, capacidades e actitudes que tódalas persoas precisan para a súa realización e desenvolvemento persoais, así como para unha cidadanía activa (UE, 2006). Asemade, neste documento establécense que son oito as competencias a adquirir: (1) comunicación na lingua materna; (2) comunicación en linguas estranxeiras; (3) competencia matemática e competencias básicas en ciencia e tecnoloxía; (4) competencia dixital; (5) aprender a aprender; (6) competencias sociais e cívicas; (7) sentido da iniciativa e espírito emprendedor; e (8) conciencia e expresión culturais (UE, 2006).

A partir do marco de referencia proposto pola Unión Europea, as competencias clave incorpóranse por primeira vez ao sistema educativo español non universitario a través da *Lei Orgánica 2/2006, do 3 de maio, de Educación* (MEC, 2006) baixo a denominación de competencias básicas. A inclusión das competencias como un elemento curricular parte da concepción da educación como unha aprendizaxe permanente ao longo da vida (MEC, 2006). A *Lei Orgánica 8/2013, do 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa* (MECD, 2013) mantén este enfoque, poñendo unha maior énfase nun modelo de currículo baseado en competencias.

Na Comunidade Autónoma de Galicia as competencias réxense pola *Orde ECD/65/2015, do 21 de xaneiro, pola que se describen as relacións entre as competencias, os contidos e os criterios de avaliación da educación primaria, a educación secundaria obrigatoria e o bacharelato* (MECD, 2015) e polo *Decreto 86/2015, do 25 de xuño, polo que se establece o currículo da educación secundaria obrigatoria e do bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2015). Neste decreto adóptanse as competencias clave establecidas na recomendación do Parlamento Europeo e do Consello da Unión Europea do ano 2006, coa única diferenza de que as competencias que fan referencia á comunicación na lingua materna e á comunicación en linguas estranxeiras se unifican nunha única competencia denominada comunicación lingüística, reducíndose a sete o número de competencias.

No seguinte apartado afondase na competencia matemática e competencias básicas en ciencia e tecnolóxica por ser as que están máis ligadas a este estudo.

2.2.2.1 Competencia científica

As ideas de “alfabetización científica” (Bybee, 1997), “cultura científica” (Solomon, 1998) ou “ciencia, tecnoloxía e sociedade” (CTS) (Solomon & Aikenhead, 1994) foron utilizadas de maneira reiterada nas últimas décadas para facer referencia ao principal propósito da educación científica (Blanco-López, España-Ramos, González-García & Franco-Mariscal, 2015). Sen embargo, malia que existen diferencias entre estes conceptos, todos eles vinculan os contidos e os obxectivos da educación científica con todo aquilo que os cidadáns e cidadás necesitan para participar de maneira efectiva nunha sociedade cada vez máis dependente da ciencia e da tecnoloxía (Blanco-López et al., 2015).

O enfoque que adopta o programa de avaliación internacional PISA acerca dos obxectivos da educación científica tamén se basea na idea de alfabetización científica, compartindo así a visión doutros autores (e. g. Bybee, 1997), os cales entenden a alfabetización científica como un conxunto de competencias que se adquiren a través da educación científica (Kauertz, Neumann & Haertig, 2012).

Nos informes PISA dos anos 2000 e 2003 definíase a competencia científica ligada á alfabetización científica como a *“capacidade de empregar o coñecemento científico para identificar preguntas e extraer conclusións baseadas en feitos, co fin de comprender e de axudar a tomar decisións sobre o mundo natural e sobre os cambios que produciu nel a actividade humana”* (OECD, 2000, p. 10). Posteriormente, no informe PISA 2006 incluíse unha reelaboración e ampliación do marco de avaliación da competencia científica, definíndose os contidos que os estudantes han de adquirir, os procesos que deben ser quen de executar, e os contextos nos que han de por en práctica os seus coñecementos e habilidades (OECD, 2006). Neste informe, á capacidade de aplicar o coñecemento científico engadiuse a capacidade de utilizar os procesos científicos. Polo tanto, esta concepción da competencia científica afástase aínda máis da concepción tradicional do ensino das ciencias como mera reprodución memorística de contidos, e fai referencia tanto ao coñecemento e aplicación das teorías científicas como á comprensión da natureza da ciencia (Vázquez-Alonso & Manassero-Mas, 2012), integrando os tres propósitos que segundo Hodson (1993) debe cumprir o ensino das ciencias: (1) aprender ciencias, é dicir, adquirir coñecementos de carácter teórico e conceptual; (2) aprender sobre ciencia, é dicir, comprender a natureza e os procedementos da ciencia; e (3) aprender a facer ciencia, é dicir, desenvolver tarefas vinculadas á investigación científica. Lederman (2018) sinala que a natureza da ciencia e a indagación científica se atopan estreitamente relacionadas, xa que da forma en que o coñecemento científico foi desenvolto emanan inherentemente as características dese coñecemento.

En PISA 2015 a competencia científica desagregase en tres capacidades ou dimensións, fragmentándose cada unha delas á súa vez nunha serie de indicadores (OECD, 2015):

- 1) Explicar fenómenos científicamente (modelización).
 - a) Recordar e aplicar o coñecemento científico adecuado.
 - b) Identificar, empregar e xerar modelos explicativos e representacións.
 - c) Facer e xustificar predicións adecuadas.
 - d) Establecer hipóteses explicativas.

- e) Explicar as implicacións potenciais do coñecemento científico para a sociedade.
- 2) Avaliar e deseñar a investigación científica (indagación).
 - a) Identificar a cuestión explorada nun estudo científico.
 - b) Distinguir cuestións que se poderían investigar científicamente.
 - c) Propor unha forma de explorar científicamente unha pregunta adecuada.
 - d) Avaliar formas de explorar científicamente unha pregunta determinada.
 - e) Describir e avaliar como os científicos aseguran a fiabilidade dos datos, e a obxectividade e xeneralización das explicacións.
- 3) Interpretar datos e probas científicamente (argumentación).
 - a) Transformar os datos dunha representación a outra.
 - b) Analizar e interpretar os datos e extraer conclusións pertinentes.
 - c) Identificar os supostos, as probas e os razoamentos nos textos relacionados coa ciencia.
 - d) Distinguir entre os argumentos que se basean na teoría e as probas científicas, e as baseadas noutras consideracións.
 - e) Avaliar os argumentos e probas científicas de diferentes fontes.

De acordo con Jiménez-Aleixandre, Bravo e Puig (2009), estas tres dimensións da competencia científica están estreitamente relacionadas, dado que avaliar e deseñar investigacións científicas implica ser quen de proporcionar formas de abordar cuestións científicamente, requirindo de fenómenos que poidan ser explicados por medio da ciencia en base ás probas dispoñibles máis adecuadas. Por outro lado, o feito de dar oportunidades para analizar as posibles interpretacións dun feito, fenómeno ou experiencia realizada na aula, permite desenvolver destrezas relacionadas co uso de probas para xustificar conclusións e razoar científicamente (McNeill & Krajcik, 2009).

No currículo español, a competencia científica relaciónase coas competencias básicas en ciencia e tecnoloxía, que fai referencia á capacidade de empregar o coñecemento e os procedementos da ciencia para resolver problemas, obter conclusións e adoptar decisións acerca do mundo físico baseadas en probas (MECD, 2015).

2.2.2.2 As prácticas científicas

O *National Research Council* (NRC, 2012) recoñece que a ciencia non é unha simple compilación de conceptos e teorías que reflicten o estado actual de coñecemento do mundo, senón que tamén implica un conxunto de prácticas científicas que permiten expandir e perfeccionar ese coñecemento. Mediante o emprego do termo práctica preténdese transmitir a idea de que a ciencia, ademais dun proceso, tamén é un produto derivado da discusión e da interacción no plano social que acompaña á construción do coñecemento científico (Reiser, Berland & Kenyon, 2012).

Esta concepción da ciencia como un conxunto de prácticas científicas foise xestando ao longo dos últimos corenta anos (Osborne, 2014). Neste sentido, un punto de inflexión clave foi o traballo do filósofo da ciencia Thomas Kuhn (1962). Este autor concibe a ciencia como unha comunidade científica involucrada nun traballo que se rexe por un conxunto de valores e normas negociados socialmente, de aí que se poida identificar a labor científica coa labor dun conxunto de profesionais que participan en tarefas ou “prácticas” específicas consensuadas.

Outros autores como Klahr, Fay e Dunbar (1993) establecen que a actividade científica se fundamenta na resolución de problemas a través de tres procesos ou “prácticas” interdependentes: (1) busca de hipóteses; (2) deseño de investigacións que permitan comprobar se as hipóteses establecidas son plausibles; e (3) interpretación dos datos obtidos mediante a experimentación. Na mesma liña, Giere, Bickle e Maudlin (2006) proporcionaron un modelo similar segundo o cal a actividade científica se concibe como un conxunto de prácticas que implican investigar, avaliar e desenvolver explicacións. Outros autores como Duschl e Grandy (2013) tamén afirman que o ensino e aprendizaxe das ciencias ha de basearse nunha concepción da ciencia

que considere o coñecemento científico como o resultado dun conxunto de prácticas epistémicas e sociais. Segundo estes autores, as tres prácticas que caracterizan a actividade científica son: (1) construción de teorías e modelos; (2) construción de argumentos; e (3) recollida e análise de datos procedentes de observacións ou experimentos. Obsérvase que a maioría dos autores propoñen un enfoque semellante, existindo unha correspondencia entre as prácticas establecidas e as tres dimensións da competencia científica (modelización, argumentación e indagación).

Baseándose nas aportacións de traballos previos (e. g. Giere et al., 2006), Osborne (2014) propuxo un modelo no que se conxugan as tres dimensións ou prácticas da actividade científica (ver Figura 2.1). A formulación de preguntas constitúe unha práctica científica fundamental dado que toda investigación parte de cuestións ás que se lles busca resposta (Osborne, 2014). Deste xeito, a indagación xoga un papel esencial nesta fase de produción de coñecemento (Garrido, 2016). Á súa vez, as observacións xeran preguntas causais que derivan na construción de modelos e na emisión de hipóteses explicativas (Osborne, 2014). Estas accións correspóndense coa modelización, entendida como o proceso de construción, uso e revisión de modelos (Gilbert & Justi, 2016; Justi, 2009). Por outra banda, a comprobación de hipóteses require avaliar ideas á luz das probas dispoñibles, e a argumentación resulta clave na avaliación deste coñecemento (Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2007).

Pola súa banda, Jiménez-Aleixandre e Gallástegui (2011) establecen que as prácticas científicas se corresponden cos procesos involucrados na construción de coñecemento. Segundo Kelly (2008), estes procesos consisten na construción, avaliación e comunicación de coñecemento a través da linguaxe. A construción de coñecemento implica xerar novas ideas en resposta a preguntas ou problemas, así como elaborar, empregar e revisar modelos que permitan dar conta dos fenómenos observados. Pola súa parte, a avaliación de coñecemento baséase en contrastar diferentes explicacións dun mesmo fenómeno tendo en conta as probas dispoñibles (Jiménez-Aleixandre & Gallástegui, 2011).

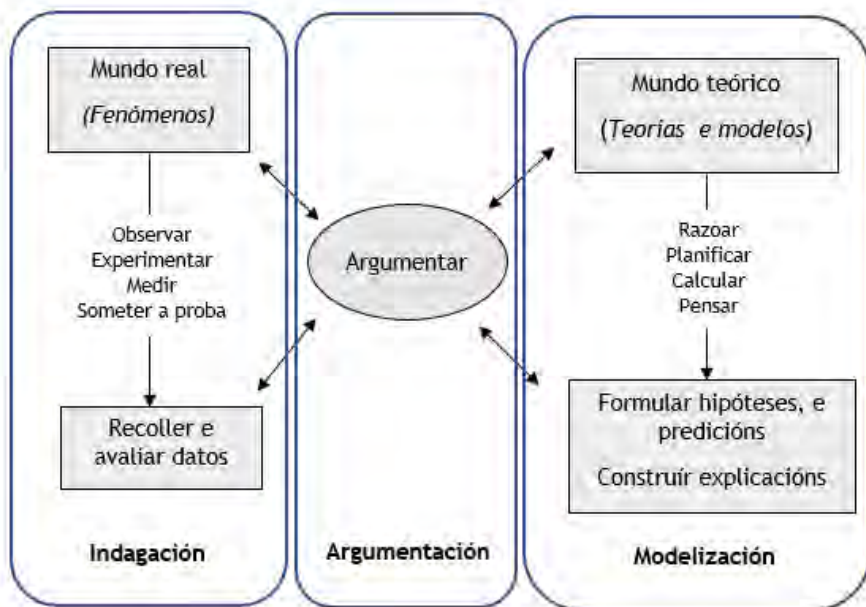


Figura 2.1. Modelo sobre a actividade científica (elaboración propia, a partir de Osborne, 2014)

Asemade, Garrido (2016) sinala que as prácticas científicas poden ser consideradas desde dúas perspectivas, como un contido de natureza procedimental e epistémica constituíndo un obxectivo de aprendizaxe en si mesmo, ou ben como un marco metodolóxico para o ensino e aprendizaxe das ciencias segundo o cal os estudantes constrúen coñecementos participando nestas prácticas. Na última reforma do currículo de Estados Unidos (NRC, 2012) considéranse as prácticas desde ambas perspectivas, e establécese un conxunto de oito prácticas sobre as que se debe erixir o ensino das ciencias desde a educación infantil ata a educación secundaria (NRC, 2012):

- 1) Establecer preguntas.
- 2) Desenvolver e empregar modelos.
- 3) Diseñar e levar a cabo investigacións.
- 4) Analizar e interpretar datos.
- 5) Empregar as matemáticas e o pensamento computacional.
- 6) Construír explicacións.

- 7) Participar en argumentos a través das probas.
- 8) Obter, avaliar e comunicar información.

Estas oito prácticas poden considerarse como unha elaboración máis detallada das tres dimensións da actividade científica (indagación, modelización e argumentación).

Como sinalan Crujeiras e Jiménez-Aleixandre (2012), a participación do alumnado en prácticas científicas estimula o desenvolvemento das tres dimensións que integran a competencia científica. O recoñecemento de cuestións que poden ser investigadas a través da ciencia supón a participación na práctica de indagación, asociada á obtención, avaliación e comunicación de información, así como ao deseño de investigacións; a explicación de fenómenos a través de modelos supón a participación nas prácticas científicas de desenvolver e crear modelos, e construír explicacións; e o uso de probas correspóndese coa práctica científica de argumentación, asociada coa análise e a interpretación de datos, e a avaliación de argumentos a través das probas (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2012).

Os obxectivos que se articulan nesta tese están relacionados coas prácticas científicas que fan referencia ao desenvolvemento e emprego de modelos, á elaboración de explicacións, e á análise e interpretación de datos. No seguinte apartado tratarase en maior profundidade o proceso de construción, uso e revisión de modelos, coñecido no ámbito da didáctica das ciencias como modelización.

2.2.3 Os modelos no ensino das ciencias

Un modelo é unha palabra polisémica (Chamizo, 2010). O dicionario da Real Academia Española recolle ata once acepcións diferentes para este termo, entre as que se atopan a de “arquetipo ou punto de referencia para imitalo o reproducilo”. Esta consideración dos modelos como copias da realidade que presentan existencia concreta adoita ser a máis habitual no eido familiar (Justi, 2006), e tamén a máis difundida entre os estudantes (Cheng & Lin, 2015).

Na área da didáctica das ciencias, existe unha definición amplamente aceptada que identifica un modelo cunha representación

dunha idea, obxecto, acontecemento, proceso ou sistema, producida para un propósito específico (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000). Así, poden existir modelos de obxectos concretos, xa sexan elementos illados ou integrados dentro dun sistema, do mesmo ou distinto tamaño que o fenómeno que representan. Tamén poden existir modelos de entidades abstractas tratados como se fosen entidades concretas (Gilbert, 2004; Gilbert et al., 2000).

Nunha liña semellante, outros autores (e.g. Chamizo, 2010; Harrison & Treagust, 2000; Schwarz et al., 2009) achegan definicións nas que xa se fai explícito a principal funcionalidade dos modelos. Segundo Schwarz et al. (2009), un modelo consiste nunha “representación que abstrae e simplifica un sistema centrándose nas características clave para explicar e predicir fenómenos” (p. 633). Deste xeito, entre os modelos e os fenómenos representados existe un diálogo permanente pois, tal e como sinalan Jim, Hokayem, Wang e Wei (2016), un exame exhaustivo do comportamento do fenómeno proporciona os elementos e as relacións necesarias para elaborar un modelo e, á súa vez, o modelo construído fai posible a xeración de novas explicacións e a emisión de predicións que poden ser testadas con novos datos procedentes do sistema.

Os modelos tamén poden ser empregados para simplificar fenómenos complexos, para visualizar entidades abstractas ou demasiado pequenas para ser observadas de forma directa, e para interpretar resultados experimentais (Justi, 2006). Por todo isto, os modelos eríxense como importantes ferramentas do pensamento científico (del Re, 2000).

O propósito menos sofisticado dos modelos consiste en amosar unicamente as características externas da realidade obxectivo. Neste nivel, os modelos funcionarían exclusivamente como réplicas da realidade. Polo contra, no nivel máis alto de sofisticación, os modelos constitúen ferramentas de investigación xenerativas, que permiten explicar, predicir e describir múltiples fenómenos, e ferramentas de pensamento, que permiten formular, razoar, comprobar e difundir ideas entre a comunidade científica (Cheng & Lin, 2015). A maioría dos estudantes, especialmente aqueles que presentan un baixo rendemento e interese polas ciencias, teñen dificultades para

desenvolver modelos baseados no razoamento, empregando modelos faltos de coherencia e baseados nas características directamente perceptibles dos fenómenos observados.

2.2.3.1 Tipos de modelos e modos de representación

Dentro dos modelos como representacións distínguense distintos tipos. Por modelos mentais (Clement & Rea-Ramirez, 2008; Gilbert et al., 2000; Greca & Moreira, 2000; Justi, 2006) enténdense aquelas representacións cognitivas privadas e persoais creadas polos suxeitos xa sexa de forma individual ou formando parte dunha comunidade. Cando os modelos mentais se sitúan no dominio público fálase de modelos expresados (Gilbert, 2004; Gilbert et al., 2000; Justi, 2006).

Cando diferentes grupos de individuos, despois de discutir e probar a validez dun determinado modelo mental, conclúen que este cumpre satisfactoriamente cos propósitos para os cales foi construído, acada o *status* de modelo consensuado. Se esa aceptación foi gañada dentro dunha comunidade conformada por expertos a través do seu sometemento a diferentes experimentos formais, un modelo adquire a consideración de modelo científico (Gilbert et al., 2000). Os modelos científicos poden ser altamente complexos e abstractos, e van evolucionando a través da indagación e do discurso (Adbo & Taber, 2009). Deste xeito, ao longo da historia da ciencia, numerosas comunidades científicas desenvolveron modelos para explicar certos fenómenos naturais que logo tiveron que adaptar para que estes se axustasen ás novas evidencias que ían xurdindo a través da observación e da experimentación (Chamizo, 2010). Así, por exemplo, para poder explicar a comezos do século XX a estrutura da codia atómica, o modelo de Thomson foi substituído polo modelo de Rutherford cando o experimento da lámina de ouro puxo en evidencia as deficiencias do primeiro á hora de efectuar predicións sobre a distribución de carga positiva no interior dos átomos.

Co fin de adaptar o coñecemento que establece o currículo oficial para cada etapa educativa ás características dos estudantes, os modelos científicos poden simplificarse (Adbo & Taber, 2009; Gilbert, 2004; Justi, 2006). Neste caso fálase de modelos curriculares, os cales se

fundamentan na transposición didáctica (Chevallard, 1997) que ten por obxectivo transformar o coñecemento dos expertos nun coñecemento susceptible de ser ensinado. O profesorado pode empregar na aula outros modelos co propósito de facilitar aos estudantes a comprensión de certos aspectos dos modelos curriculares. Estes últimos denomínanse modelos de ensinanza (Adbo & Taber, 2009; Gilbert, 2004; Justi, 2006).

Cada un dos modelos presentados anteriormente pode situarse no dominio público e converterse en accesible, por medio do uso dun ou varios modos de representación. O modo material ou concreto refírese ás representacións en tres dimensións construídas mediante materiais tanxibles como un modelo de plástico coloreado para representar o sistema circulatorio humano ou os modelos moleculares de bólas e barras para representar a estrutura interna das substancias. O modo verbal consiste na descrición dos elementos nos que o modelo se fundamenta, e as relacións entre eles. No modo simbólico teñen cabida os símbolos dos elementos químicos (e. g. a utilización do símbolo Na para referirse ao sodio ou do símbolo Ag para referirse á prata), as fórmulas dos compostos (e. g. a utilización da fórmula NaCl para referirse ao cloruro de sodio, tamén coñecido como sal común), as ecuacións químicas (e. g. $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ para representar a reacción de neutralización entre o ácido clorhídrico e o hidróxido de sodio), e as expresións matemáticas das leis físicas (e. g. a utilización da ecuación $F=m \cdot a$ para expresar a Segunda Lei de Newton, tamén coñecida como a Lei Fundamental da Dinámica). O modo visual agrupa aquelas representacións que consisten en gráficos, diagramas ou animacións. O modo xestual implica o movemento do propio corpo ou de certas partes do mesmo para representar o sistema obxectivo (Gilbert, 2004).

2.2.3.2 Os modelos mentais e as ideas alternativas

Desde a década dos anos 70, unha liña de investigación relevante no eido da didáctica das ciencias foi o estudo da adquisición de coñecementos por parte dos estudantes acerca do mundo físico (e. g. Duit, 2009). Estes estudos coinciden ao sinalar que os estudantes posúen as súas propias ideas acerca da natureza dos fenómenos como

resultado das súas interaccións co mundo que os rodea, e que estas ideas poden ser compatibles co coñecemento científico ou, pola contra, constituír verdadeiros obstáculos epistemolóxicos que dificultan a aprendizaxe (Driver, 1989). Dentro destas ideas, Chi (2008) distingue entre preconcepcións e concepcións alternativas. Segundo este autor, por preconcepcións enténdese as ideas iniciais dos estudantes sobre o mundo físico construídas en base a experiencias na vida diaria, mentres que por concepcións alternativas enténdense as ideas xeradas a partir dunha interpretación inadecuada dos conceptos científicos unha vez que os estudantes foron expostos formalmente na aula aos contidos da ciencia (Chi, 2008).

Sen embargo, desde a década dos 90 comezou a cobrar relevancia o enfoque baseado en modelos mentais (Oliva, 1999). A resistencia ao cambio que caracteriza a algunhas das concepcións alternativas fixo pensar aos investigadores desta área educativa que estas ideas non existen na mente dos suxeitos como ideas illadas, senón que se atopan formando un conxunto estruturado e coherente de ideas interconectadas (Chi, 2008; García-Rodeja & Lima, 2012; Gutiérrez, 2004). Noutras palabras, as concepcións alternativas poden estruturarse en modelos explicativos alternativos ou modelos mentais (Gilbert et al., 2000), os cales poden ser extremadamente funcionais e coherentes para os individuos que os sosteñen, incluso cando estas representacións privadas e persoais resultan incompatibles ou contraditorias cos modelos científicos (Reinfried & Tempelmann, 2014).

O construto de modelo mental, procedente da área da Psicoloxía Cognitiva, foi descrito por primeira vez polo psicólogo Craik (1943), quen sostiña que os suxeitos posúen na súa mente un modelo a pequena escala acerca do funcionamento do mundo. Décadas máis tarde, Johnson-Laird (1983) desenvolveu en maior profundidade a idea de modelo mental de Craik (1943), definindo este como un mecanismo de razoamento que existe na memoria de traballo dunha persoa. Desde entón, foron propostas numerosas definicións acerca deste termo. Para Vosniadou (1994) un modelo mental constitúe unha representación mental que os individuos xeran durante o funcionamento cognitivo. Nunha liña semellante, Gilbert (2004)

define un modelo mental como unha representación privada e persoal construída por un suxeito xa sexa só ou formando parte dun grupo. A definición que adoptamos como referencia nesta tese concorda coa establecida por Greca e Moreira (2000). Estes autores describen un modelo mental como unha representación construída polos individuos como resultado da interacción social, a percepción do mundo e as experiencias persoais, co propósito de efectuar predicións, describir e/ou explicar feitos ou fenómenos (Greca & Moreira, 2000). Cómpre aclarar que para que os modelos mentais sexan accesibles a outros é necesario expresalos mediante accións, a linguaxe verbal, a escritura ou calquera outro modo de representación simbólico (Justi, 2006). Os modelos expresados son aos que temos acceso empírico e son construídos para comunicarse con outros individuos (Chamizo, 2010).

Os modelos mentais, pese a ser análogos estruturais dos sucesos, fenómenos ou sistemas obxectivo, poden ser incompletos debido a que as persoas posúen unha capacidade limitada para representar o mundo (Jones, Ross, Lynam, Perez & Leitch, 2011). Asemade, os modelos mentais poden ser representacións inconsistentes, dado que dependen do contexto e poden mudar de acordo coa situación na que se empreguen (Jones et al., 2011); e poden ser non-científicos, dado que se basean en crenzas que, como tales, difiren do coñecemento aceptado pola comunidade científica (Greca & Moreira, 2000). Outra característica importante dos modelos mentais é a recursividade (Johnson-Laird, 1983), é dicir, trátanse de representacións dinámicas que poden ser ampliadas ou melloradas a medida que se vai incorporando nova información, de aí que aqueles modelos que difiran en contido e estrutura dos modelos da ciencia escolar poden chegar a evolucionar cara os modelos que se presentan no contexto educativo de planificarse estratexias de aprendizaxe adecuadas (Vosniadou & Brewer, 1994). Segundo Gutiérrez (1994), os estudantes modificarán os seus modelos mentais cando se incumpran os criterios de consistencia, robustez e correspondencia. Dise que un modelo é consistente cando carece de contradicións internas; é robusto cando poder ser empregado en situacións non previsibles durante a construción do modelo; e é correspondente cando describe con

fidelidade o comportamento real do fenómeno ou sistema representado (Gutiérrez, 1994).

Por outra parte, o feito de que os modelos mentais consistan nunha estrutura de crenzas e imaxes fai que, a diferenza dunha concepción alternativa illada, teñan un carácter xenerativo, de aí que permitan aos suxeitos predicir e explicar fenómenos (Greca & Moreira, 2000). Ademais de permitir xerar novas explicacións e predicións acerca do comportamento do fenómeno baixo estudo que poden ser contrastadas a través dos datos, unha análise do fenómeno representado proporciona información sobre as limitacións, elementos e relacións que se establecen no modelo. Polo tanto, entre o modelo e o fenómeno existe unha relación de diálogo permanente (Schwarz et al., 2009).

2.2.3.3 O cambio conceptual baseado en modelos

O modelo de cambio conceptual de Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982) establecía que para desterrar as concepcións alternativas era necesario que os suxeitos se sentisen insatisfeitos coas súas propias percepcións, e que percibisen a nova concepción cientificamente aceptada como intelixible, útil e plausible. Desde a perspectiva do modelo proposto por estes autores, existían dúas modalidades de reorganización conceptual. No proceso de asimilación, as concepcións alternativas eran empregadas para procesar a nova información, podendo ser esta incorporada ao esquema conceptual anterior. Na modalidade de acomodación tiña lugar a reestruturación ou substitución dos antigos conceptos cando estes eran percibidos como inadecuados polo suxeito (Posner et al., 1982). Malia que a influencia do modelo de cambio conceptual desde a súa aparición nos anos oitenta foi notoria condicionando as investigacións desenvoltas no ámbito da didáctica das ciencias, nos últimos anos algúns autores (e. g. Moreira & Greca, 2003) suxiren a existencia de certas debilidades nesta corrente de pensamento. Como sinalan Moreira e Greca (2003) nunha revisión realizada sobre este tema, pode ser pouco adecuado contemplar o cambio conceptual como unha mera substitución dunha concepción por outra na estrutura cognoscitiva do aprendiz. Segundo estes autores, un conflito cognitivo

pode ser insuficiente para substituír por outra unha concepción que foi adquirida de forma significativa.

A entrada en escena do construto de modelo mental supuxo un cambio de perspectiva na definición de cambio conceptual. No caso dos modelos mentais, Gadgil, Nokes-Malach e Chi (2012) entenden por cambio conceptual a transformación do coñecemento previo que entra en conflito cos conceptos a ser aprendidos, e establecen que os procesos cognitivos asociados a este cambio inclúen a xeración de inferencia e a revisión de coñecementos a nivel dos modelos mentais. Este cambio conceptual a nivel de modelo mental require dunha revisión que afecte tanto ás características do modelo como ás relacións que se establecen entre ditas características, coa intención de eliminar as contradicións internas e incrementar a súa robustez (Gadgil et al., 2012). Schraw, Crippen & Hartley (2006) engaden que é necesario algún tipo de conflito intelectual para que se faga efectivo o cambio conceptual. Polo contrario, non constitúe un cambio conceptual a mera adquisición de coñecemento cando os estudantes carecen de coñecemento previo nun dominio conceptual concreto, ou cando posúen algún coñecemento previo pero incompleto (Chi, 2008). Establecendo unha analoxía entre a terminoloxía empregada por Posner et al. (1982), nesta última modalidade de cambio, denominada enriquecemento ou acrecentamento, predominarían os procesos de asimilación, mentres que na modalidade de cambio radical, predominarían os de acomodación (Oliva, 1999).

Os modelos alternativos que presentan unha gran coherencia intrínseca serven como estruturas para acoller nova información, pero non se modifican de maneira substancial (García-Rodeja & Lima, 2012; Reinfried & Tempelmann, 2014). Os modelos son aínda máis difíciles de modificar se ademais posúen unha certa coherencia extrínseca, é dicir, se teñen potencialidade para asimilar nova información sen que se produza un cambio radical no modelo (García-Rodeja & Lima, 2012). Cómpre aclarar neste punto que o termo “coherencia” non significa que o modelo sexa coherente desde o punto de vista científico ou da ciencia escolar, senón desde o punto de vista do estudante (García-Rodeja & Lima, 2012).

2.2.3.4 O proceso de modelización

A ciencia concíbese como un proceso de construción, proba, avaliación e reconstrución de modelos sobre o funcionamento de determinados aspectos do mundo (Giere, 2004). Este proceso denominado modelización (Gilbert & Justi, 2016; Justi, 2009) esixe transitar entre o pensamento científico e o pensamento cotián que os suxeitos tenden a aplicar aos fenómenos do mundo real (Merino & Izquierdo, 2011). Suckling, Suckling e Suckling (1978) entenden a modelización como un proceso lineal que involucra unha serie de fases: (1) recoñecemento dunha situación ou fenómeno problemático susceptible de ser abordado mediante o emprego dun modelo; (2) delimitación do sistema ou fenómeno a estudar; (3) formulación de preguntas; (4) construción e execución do modelo; e (5) análise de resultados e obtención de conclusións.

Non obstante, desde os últimos anos existe consenso acerca da consideración do proceso de modelización como un proceso dinámico e non lineal (e. g. Coll & Lajium, 2011). De acordo con esta visión, foron varios os autores que propuxeron diferentes descrições do proceso de modelización e das fases que seguen os estudantes para desenvolver modelos (Louca & Zacharia, 2015). Schwarz et al. (2009) estableceron que a práctica de modelización inclúe catro etapas fundamentais: (1) construción do modelo en base ao coñecemento e experiencias previas para explicar, describir ou predicir un fenómeno; (2) xeración de explicacións, descrições ou predicións do fenómeno baixo estudo; (3) comparación da capacidade de modelos alternativos para dar conta do fenómeno observado, e avaliación da súa capacidade de xeneralización a situacións semellantes; e (4) revisión do modelo co propósito de incrementar o seu poder explicativo e previsor se non existe correspondencia cos datos empíricos. Deste xeito, o proceso de modelización enténdese como un proceso iterativo de construción, avaliación, revisión e substitución de modelos (Cheng & Lin, 2015).

Desde un enfoque semellante, Justi (2006) propón un modelo para o proceso de modelización no que se fan explícitas tanto as etapas que interveñen como as interaccións entre elas (ver Figura 2.2). De acordo con esta autora, a construción dun modelo sempre se inicia coa intención de satisfacer un obxectivo específico, en función do cal se

seleccionan aqueles aspectos da realidade que se empregarán para describir o fenómeno ou obxecto a modelar (etapa 1).

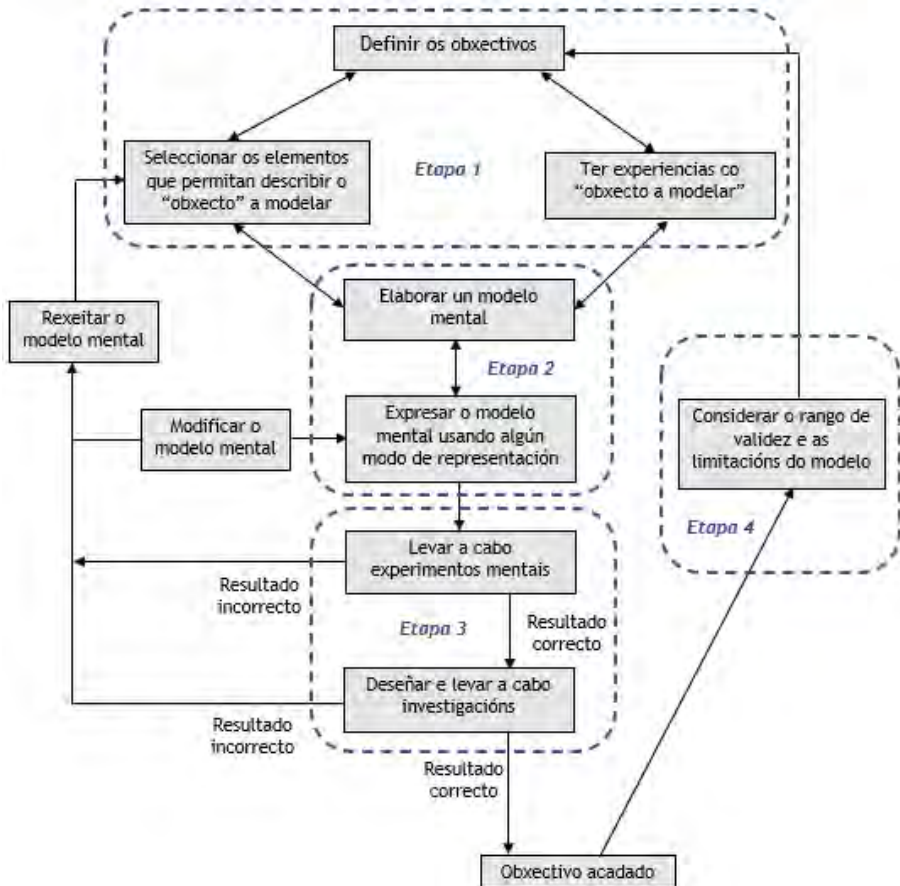


Figura 2.2. Modelo para o proceso de produción e avaliación de modelos (Justi, 2006, e Mendonça & Justi, 2013a)

A partir da obtención e organización mental das observacións empíricas ou das informacións previamente existentes na estrutura cognitiva do suxeito acerca da entidade a modelar, elabórase un modelo inicial que se expresará a través dun ou varios modos de representación (etapa 2). A seguinte etapa do proceso de modelización consiste na comprobación do modelo establecido, o cal se pode facer a

través de experimentos mentais ou mediante o desenvolvemento de ensaios experimentais (etapa 3). Se o modelo cumpre co propósito para o que foi elaborado acéptase e danse a coñecer as súas limitacións e campo de validez (etapa 4); en caso contrario, o modelo rexéitase e iníciase de novo o proceso (Justi, 2006).

Por outra banda, Campbell e Oh (2015) propoñen cinco tipos de modelización baseándose no traballo científico: (1) modelización exploratoria (*exploratory modeling*); (2) modelización expresiva (*expressive modeling*); (3) modelización experimental (*experimental modeling*); (4) modelización avaliativa (*evaluative modeling*); e (5) modelización cíclica (*cyclic modeling*).

Na modelización exploratoria os individuos investigan as características dun modelo preexistente. Na modelización expresiva os suxeitos describen ou explican fenómenos científicos por medio da creación de novos modelos ou o emprego de modelos existentes (Campbell & Oh, 2015). Cando os estudantes se atopan na fase de modelización expresiva, é frecuente que emerxan numerosas dificultades, entre as que se inclúe a tendencia a centrarse nos aspectos estáticos do fenómeno baixo estudo e a non ter en conta as interaccións que se establecen entre os principais compoñentes do sistema (Mulder, Lazonder & de Jong, 2015). Na modelización experimental os suxeitos formulan hipóteses e predicións a partir dos modelos e poñen a proba a súa plausibilidade a través da experimentación. Na modelización avaliativa os suxeitos comparan modelos alternativos acerca dun mesmo fenómeno ou problema, e seleccionan o máis apropiado para explicar o fenómeno ou resolver o problema. Na modelización cíclica os suxeitos participan no proceso de desenvolvemento, avaliación e mellora dos seus modelos (Campbell & Oh, 2015).

Por outra parte, o proceso de construción, revisión e uso de modelos non é exclusivo dos individuos en idade adulta. Como sinala Sanmartí (1995), aprender ciencias é poñer en relación diferentes modelos interpretativos que as nenas e os nenos constrúen desde moi pequenos e, valorar, de algunha maneira, as vantaxes e inconvenientes de cada nova maneira de ver o mundo. Desde idades temperás, as nenas e nenos senten unha necesidade innata de desenvolver modelos

que lles permitan interpretar o mundo que os rodea e empregan para elo todos os recursos que existen á súa disposición (Canedo-Ibarra, Castelló-Escandell, García-Wehrle, Gómez-Galindo & Morales-Blake, 2012). Estes modelos iniciais, coñecidos como modelos precursores, teñen un rango de aplicación limitado e soamente permite establecer correlacións causais simples. Sen embargo, resulta imprescindible afondar no seu coñecemento, pois constitúen a base sobre a que se erixirá o modelo da ciencia escolar (Koliopoulos, Tantaros, Papandreu & Ravanis, 2004).

2.2.3.5 Relación entre modelización e argumentación

Na actualidade, cada vez existe un maior consenso acerca da importancia de involucrar aos estudantes en prácticas científicas tales como a argumentación, a indagación ou a modelización (e. g. Duschl, Shouse & Schweingruber, 2007). No contexto da ciencia, por argumentación enténdese a avaliación de enunciados de coñecemento tendo en conta as probas dispoñibles (Jiménez-Aleixandre & Díaz, 2003). De acordo con Bravo, Puig e Jiménez-Aleixandre (2009), as probas son aquelas observacións, feitos ou datos empíricos nos que se sustenta un enunciado. Entre as potencialidades das destrezas argumentativas figura o desenvolvemento dun pensamento crítico que permita adoptar decisións complexas acerca de controversias sociocientíficas, e a participación nos procesos cognitivos e metacognitivos vinculados á práctica de modelización (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). A construción de modelos e explicacións acerca do mundo natural require que os estudantes, ademais de comprender os conceptos científicos implicados, desenvolvan a capacidade de elixir entre distintas explicacións ou modelos alternativos (Zohar & Nemet, 2002).

Desde unha visión da ciencia baseada en modelos, a finalidade da observación e da experimentación é axudar aos científicos a decidir que modelo se axusta mellor a aqueles aspectos do mundo real que representa (Giere, 2001), sendo a modelización un proceso fundamentalmente argumentativo (Oliveira, Justi & Mendonça, 2015). Neste sentido, a argumentación concíbese como un proceso de avaliación crítica de modelos que permite determinar a idoneidade dun

ou varios modelos alternativos atendendo á súa coherencia interna e á súa correspondencia coas probas dispoñibles (Böttcher & Meisert, 2011).

Giere (2001) desenvolveu un esquema no que se fan explícitas as situacións argumentativas que se establecen durante as etapas de produción e avaliación de modelos (ver Figura 2.3).

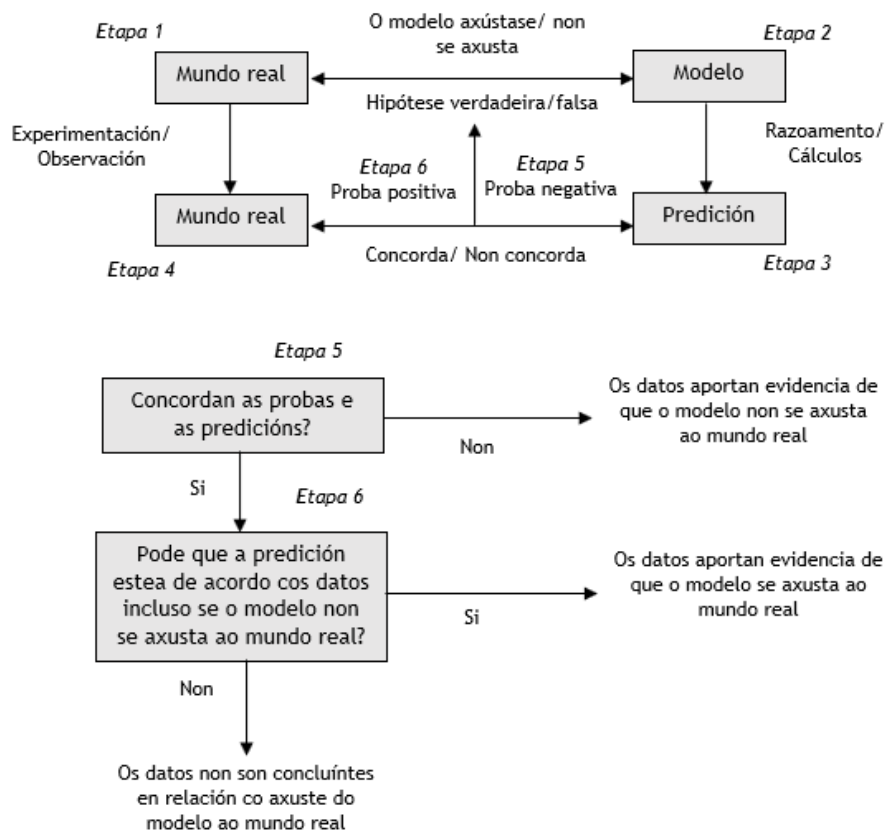


Figura 2.3. Situacións argumentativas que se establecen durante a construción e avaliación de modelos baseada na proposta de Giere (2001) (adaptado de Böttcher & Meisert, 2011, e Mendonça e Justi, 2013b)

Segundo isto, en primeiro lugar os suxeitos constrúen un modelo acerca da porción do mundo real baixo estudo (etapa 2) a partir da interacción cunha serie de factores: (1) leis, teorías e modelos que

forman parte da estrutura cognoscitiva previa do suxeito; (2) relacións de tipo analóxico e matemático; e (3) destrezas lingüísticas e visuais (Mendonça & Justi, 2013b). Posteriormente, tendo en conta o modelo, emítense predicións (etapa 3) que se contrastan coas probas (etapa 4). Se as predicións non concordan coas probas (etapa 5), o modelo non se axusta ao mundo real. Se pola contra existe correspondencia entre as predicións e as probas (etapa 6), o modelo cumpre cos propósitos para os que foi construído (Giere, 2001).

Queda claro que a argumentación constitúe unha parte inherente da ciencia por mor da necesidade de avaliar a adecuación dos modelos e teorías en virtude do coñecemento e evidencias dispoñibles, e do carácter eminentemente social da ciencia de maneira que os modelos xerados polos científicos con sometidos a discusións e refutacións por parte da comunidade científica (Mendonça & Justi, 2013b).

Pola súa banda, Duschl e Ellenbogen (2009) desenvolveron un modelo que permite ilustrar as situacións argumentativas que se desenvolven durante a transformación de datos en probas, e o uso das probas na avaliación de modelos alternativos. Este modelo, denominado E-E (do inglés *Evidence-Explanation*), consta de tres etapas (ver Figura 2.4). A primeira etapa fai referencia á selección dos datos que serán empregados como probas durante a avaliación de enunciados. A segunda etapa consiste en utilizar as probas para producir modelos alternativos, é dicir, os datos artículanse nun argumento coa intención de confirmar ou refutar un enunciado (Mendonça & Justi, 2013b). A terceira e última etapa baséase en decidir, de entre varios modelos ou teorías alternativas, a que describe ou explica con maior fidelidade o fenómeno (Duschl & Ellenbogen, 2009).

Outros autores como Berland e Reiser (2009) establecen que a argumentación ha de cumprir tres obxectivos principais: (1) atribución de sentido, cando o suxeito busca establecer relacións entre os enunciados e os datos; (2) articulación de ideas, cando o suxeito elabora un argumento para ser comunicado a outros; e (3) persuasión, cando o suxeito intenta convencer a outros da validez das súas explicacións. Segundo Mendonça e Justi (2013a), durante o proceso de construción, uso e revisión de modelos danse diversas situacións

argumentativas que contribúen a un ou varios dos obxectivos propostos por Berland e Reiser (2009). Por exemplo, durante a fase de produción do modelo mental, os suxeitos desenvolven accións relacionadas coa atribución de sentido ao buscar e seleccionar información relevante acerca da entidade a ser modelada na estrutura cognitiva previa ou en fontes externas, e ao entender o propósito dos modelos a elaborar (Mendonça & Justi, 2013a).

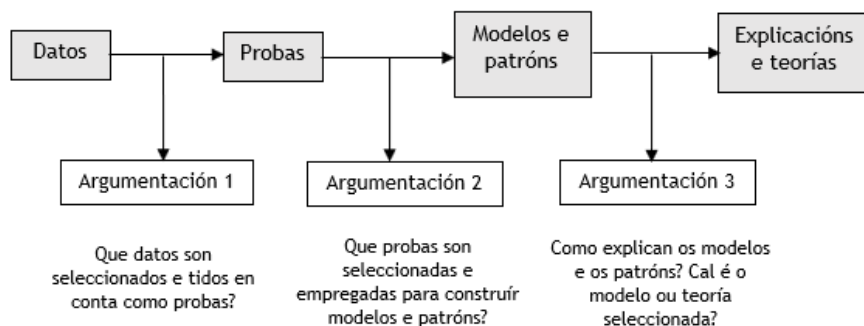


Figura 2.4. Modelo E-E (*Evidence-Explanation*) proposto por Duschl e Ellenbogen (2009)

Por outra parte, Baker (2009) suxire que durante o proceso avaliación de modelos a través da argumentación poden producirse catro interaccións comunicativas diferentes (ver Figura 2.5). A primeira situación dáse cando dous individuos (I_1 , I_2) posúen distintos modelos (M_1 , M_2) que entran en confrontación. Na segunda situación, un dos suxeitos (I_1) defende un modelo específico (M_1) mentres que outro suxeito (I_2) o rexeita sen chegar a ofrecer de xeito explícito un modelo alternativo. Nestas situacións os interlocutores han de proporcionar argumentos a favor ou en contra dun modelo específico coa intención de convencer ao outro. Nas dúas últimas situacións, un dos suxeitos expresa varios modelos alternativos mentres que o outro axuda ao primeiro a decidir que modelo é o máis apropiado (Baker, 2009).

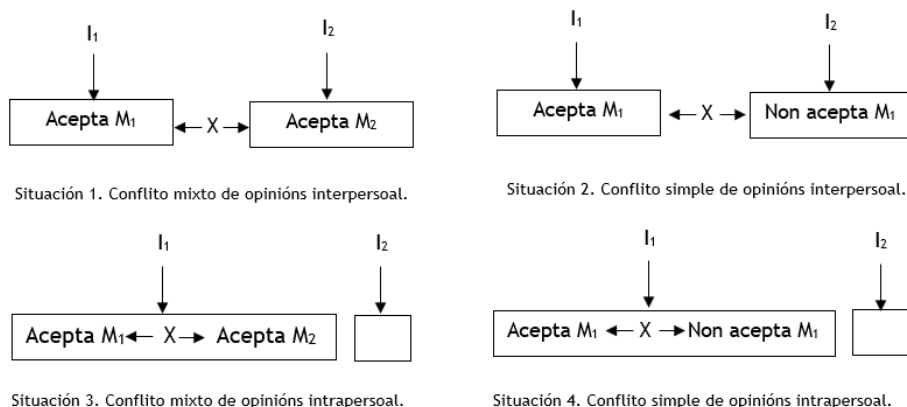


Figura 2.5. Situacións de discusión durante a modelización (X = conflicto; M = modelo; I = interlocutor) (Mendonça & Justi, 2013b)

2.2.3.6 Tipos de explicacións

A construción de explicacións constitúe unha das prácticas discursivas máis importantes no ensino das ciencias (Rodrigues & Pereira, 2018). Porén, na literatura non existe unha definición consensuada acerca do termo “explicación” (Oliveira et al., 2015).

De forma xeral, Gilbert, Boulter e Rutherford (1998) propoñen unha descrición simple de explicación entendendo esta como calquera resposta que deriva dunha pregunta. Estes autores suxiren que en función da natureza das preguntas acerca de fenómenos naturais emerxen diferentes tipos de explicacións. Segundo Gilbert et al. (1998), as explicacións poden describir o comportamento dun fenómeno (explicación descritiva), informar dos elementos que integran o fenómeno (explicación interpretativa), xustificar por que o fenómeno se comporta da forma en que o fai (explicación causal), describir como se comporta o fenómeno noutras circunstancias (explicación predictiva) ou ben definir o problema ao que se pretende dar resposta (explicación intencional). Concari (2001) sinala que nas aulas de ciencias se fai pouco énfase nas explicacións intencionais e predictivas. Segundo esta autora, as explicacións descritivas son as máis demandadas ao alumnado, mentres que practicamente non se require que os estudantes formulen predicións nin constrúan explicacións que defendan a predición.

Outros autores como Norris, Guilbert, Smith, Hakimelahi e Phillips (2005) buscaron unha maior concreción e definen unha explicación como un enunciado que persegue desenvolver ou expandir significados, ou aclarar certos aspectos para facelos máis intelixibles. Estes autores, á súa vez, distinguen entre explicacións de tipo intrínseco ou extrínseco. Para Norris et al. (2005) dise que unha explicación é intrínseca á ciencia cando persegue dar conta dalgún fenómeno natural e forma parte do coñecemento aceptado pola comunidade científica. Segundo estes autores, de teorías científicas como a da gravitación universal ou a tectónica de placas derivan explicacións de tipo intrínseco. En cambio, dise que unha explicación é de carácter extrínseco cando explica algo sobre a ciencia que non pertence ao corpo de coñecemento científico actual (Norris et al., 2005). Exemplos de explicacións extrínsecas serían aquelas que describen como o coñecemento científico se foi afastando da teoría filosófica do vitalismo ao longo do tempo. Outros autores como Ribeiro e Martins (2007) destacan a importante función informativa que desempeñan as explicacións de tipo extrínseco en relación coa natureza da ciencia de cara a transmitir unha cultura científica ao permitir describir como se foron desenvolvendo os procesos de produción de coñecemento científico ao longo da historia da ciencia.

Outros autores como Braaten e Windschitl (2011) sinalan que o alumnado pode xerar explicacións a fin de aclarar significados ou describir o razoamento empregado para dar resposta a un determinado problema (*explanation as explication*), definir o mecanismo causal dun fenómeno establecendo relacións de tipo causa-efecto (*explanation as causation*) ou ben xustificar unha idea (*explanation as justification*). Nesta última tipoloxía de explicacións, o énfase recae sobre a construción de argumentos (Oliveira et al., 2015). Estas autoras afirman que nesta situación se pide ao alumnado que constrúa explicacións que sigan a estrutura de pretensión-datos-razoamento consistente co modelo proposto por Toulmin (1958) para a análise de argumentos.

2.3 REVISIÓN SISTEMÁTICA DA LITERATURA NO DOMINO CONCEPTUAL DA MATERIA E AS SÚAS TRANSFORMACIÓNS

Entre os principais propósitos dunha revisión da literatura figura o poder obter unha panorámica xeral dos resultados máis relevantes da investigación nun determinado dominio para que os investigadores da área poidan ter unha marco de referencia en base ao que planificar futuros estudos (Petticrew & Roberts, 2006).

Fundamentalmente, as revisións da literatura clasifícanse en revisións sistemáticas ou narrativas (Lozano, 2009). Segundo Petticrew e Roberts (2006), unha revisión sistemática é aquela que permite “identificar, avaliar e sintetizar de forma exhaustiva todos os estudos relevantes sobre un tema determinado” (p. 19). Constitúe unha ferramenta esencial para sintetizar a información dispoñible, aumentar a validez de estudos individuais e definir preguntas de investigación máis específicas naquelas áreas nas que é necesario incrementar o coñecemento existente (Ferreira, Urrútia & Alonso-Coello, 2011). Non obstante, para esta apreciación crítica da literatura dispoñible, a revisión sistemática require da aplicación dun algoritmo explícito (Crossan & Apaydin, 2010). Noutras palabras, a revisión sistemática fai uso de procedementos previamente definidos co obxectivo de minimizar a subxectividade e o azar (Tranfield, Denyer & Smart, 2003).

A revisión narrativa ou tradicional tamén proporciona unha descrición do estado da arte dunha determinada cuestión, pero sen sinalar as fontes de información ou os criterios empregados para a selección e avaliación dos traballos, de aí que produza revisións de menor calidade que a revisión sistemática (Crossan & Apaydin, 2010; Lozano, 2009). Ao non facer uso dun procedemento transparente e facilmente reproducible, o proceso de revisión narrativa é máis susceptible de verse afectado dunha compoñente subxectiva derivada das teorías implícitas dos propios autores (Tranfield et al., 2003).

A continuación descríbense as fases das que consta unha revisión sistemática e a súa aplicación para examinar os estudos previos acerca da materia e as súas transformacións no eido da didáctica das ciencias experimentais. O protocolo de revisión adoptado fundaméntase nas recomendacións de Bennett, Lubben, Hogarth & Campbell (2005).

Outros autores como Hadenfeldt, Liu & Neumann (2014) tamén sistematizaron os achados da investigación neste dominio, pero limitaron a revisión a artigos publicados entre 2003 e 2012 en revistas cun factor de impacto superior a 1,0 no 2012.

2.3.1 Definición da pregunta de investigación

O primeiro paso para realizar unha revisión sistemática é formular adecuadamente a pregunta de investigación á que se pretende dar resposta a través da revisión. En xeral, debe reflectir de maneira explícita compoñentes como o obxectivo da revisión, o tipo de estudos que son de interese para a revisión e a poboación de interese (Petticrew & Roberts, 2006).

Nesta investigación, a pregunta arredor da que xirará a revisión sistemática é: Cales son os modelos e as concepcións alternativas básicas dos estudantes acerca da materia e a súas transformacións?

2.3.2 Desenvolvemento de criterios de inclusión e exclusión

Unha vez definida a pregunta de investigación, a seguinte fase consiste en desenvolver unha serie de criterios que permitan decidir que estudos incluír e cales excluír do proceso de revisión (Bennett et al., 2005). Unicamente se someterán a revisión aqueles estudos que se adecúen a todos os criterios de inclusión e non cumpran ningún dos criterios de exclusión establecidos no protocolo de revisión (Tranfield et al., 2003). Dentro dos posibles criterios a establecer, están os relacionados cos obxectivos da investigación, o idioma e a poboación de interese (Bennett et al., 2005). Na Táboa 2.1 inclúense os criterios de exclusión e inclusión considerados nesta revisión sistemática.

2.3.3 Selección dos estudos

A busca de estudos pódese levar a cabo empregando bases de datos electrónicas (Kitchenham, 2004). Ademais, é recomendable consultar outras fontes de información como as listas de referencia dos propios traballos ou actas de congresos (Kitchenham, 2004; Tranfield et al., 2003).

Por outra parte, é necesario definir os termos ou palabras clave a empregar na busca. Para acceder aos estudos máis relevantes,

Kitchenham (2004) recomenda elaborar unha lista de termos que garden relación coa pregunta de investigación, e logo construír cadeas de busca empregando os operadores booleanos AND, OR e NOT.

Táboa 2.1 Criterios de inclusión e exclusión aplicados na revisión sistemática

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Documentos publicados en español, portugués e inglés. • Publicacións vinculadas ao eido do ensino e aprendizaxe das ciencias. • Publicacións nas que se estude a comprensión dos estudantes acerca de aspectos básicos da materia e os seus cambios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentos aos que non sexa posible acceder ao texto completo cos recursos da biblioteca da Universidade de Santiago de Compostela. • Publicacións que consistan unicamente en propostas didácticas, deseños e validacións de instrumentos de recollida de datos, ou análise de materiais de instrución como libros de texto. • Publicacións nas que só se estude a comprensión dos estudantes acerca de aspectos máis sofisticados da materia como os tipos de enlace, termoquímica ou cinética química.

A busca bibliográfica levouse a cabo nas bases de datos ERIC, SCOPUS e Dialnet durante os meses de novembro e decembro de 2017, e na base de datos *Web of Science* durante o mes de abril de 2018. De seguido, especifícanse as características máis salientables destas bases de datos:

- **ERIC** (*Education Resources Information Centre*). Editada polo Departamento de Educación dos Estados Unidos, é a base de datos máis importante no campo da educación. Reúne citas bibliográficas de artigos de revistas, descrições de programas e programas curriculares, proporcionado acceso en moitos casos ao texto completo dos documentos.
- **SCOPUS**. Creada pola editorial Elsevier, esta base de datos inclúe citas bibliográficas e resumos de artigos sometidos a un proceso de revisión por pares.
- **Dialnet**. É a base de datos da produción científica hispana máis importante. Recompila documentos publicados en España en calquera lingua ou en español en calquera país, entre os que figuran artigos de revistas, monografías, capítulos de libros, comunicacións presentadas en congresos e teses doutorais.

Para que un artigo poida figurar nesta base de datos é preciso que a revista na que estea publicado cumpra cos criterios de calidade editorial de Latindex.

- **WOS** (*Web of Science*). É unha plataforma subministrada por Thomson Reuters que recompila as principais publicacións científicas das distintas ramas de coñecemento. Contén tres bases de datos para cada rama de coñecemento (*Science Citation Index*, *Social Sciences Citation Index*, e *Arts & Humanities Citation Index*), dúas bases de datos químicos (*Index Chemicus* e *Current Chemical Reactions*) e dúas bases de datos de comunicacións en congresos e conferencias (*Conference Proceedings Citation Index: Science* e *Conference Proceedings Citation Index: Social Science and Humanities*)

Decidiuse optar por estas catro bases de datos porque inclúen diferentes publicacións do eido educativo ás que se lles esixe cumprir uns criterios mínimos de calidade. A utilización dun procedemento de revisión de dobre cego, no que dous especialistas anónimos avalían unha publicación, constitúe unha garantía de que se están a cumprir coas normas básicas de calidade científica (Fox & Diezmann, 2007).

No Cadro 2.1 amósase a estratexia de busca nas bases de datos *Web of Science*, ERIC e SCOPUS para a procura de coincidencias no título, nos resumos e nas palabras clave das publicacións. En Dialnet empregáronse os mesmos algoritmos traducidos ao castelán.

Non se aplicou ningún límite temporal aos resultados da busca, sendo contemplados todos os anos dispoñibles nas bases de datos. O criterio de inclusión referido ao idioma xa se aplicou nesta fase da revisión a través dos filtros dos que dispoñen as propias bases de datos para refinar os resultados.

Como limitacións da busca cómpre mencionar que existe a posibilidade de que fosen omitidos algúns traballos de relevancia que aborden as concepcións e modelos dos estudantes acerca da materia e as súas transformacións, pois só foi posible acceder a documentos escritos en inglés, español ou portugués. Ademais, é posible que algunhas publicacións de interese para a investigación formen parte de

revistas indexadas en bases de datos distintas das seleccionadas (Evans, Stevenson, Lasen, Ferreira & Davis, 2017).

Cadro 2.1. Algoritmos de busca empregados nas bases de datos

"transformation of matter" AND student AND conceptions
 "transformation of matter" AND student AND ideas
 "transformation of matter" AND student AND models
 "transformation of matter" AND student AND understanding
 ("chemical change" AND student AND conceptions) OR ("physical change" AND student AND conceptions)
 ("chemical change" AND student AND ideas) OR ("physical change" AND student AND ideas)
 ("chemical change" AND student AND understanding) OR ("physical change" AND student AND understanding)
 ("chemical change" AND student AND models) OR ("physical change" AND student AND models)
 "science education" AND matter AND chemistry AND student AND ideas
 "science education" AND matter AND chemistry AND student AND conceptions
 "science education" AND "chemical reaction" AND student AND understanding
 "science education" AND "chemical reaction" AND student AND ideas
 "science education" AND "chemical reaction" AND student AND conceptions
 "science education" AND "chemical reaction" AND student AND models
 (evaporation AND student AND conceptions) OR (condensation AND student AND conceptions)
 (evaporation AND student AND ideas) OR (condensation AND student AND ideas)
 (evaporation AND student AND understanding) OR (condensation AND student AND understanding)
 (evaporation AND student AND models) OR (condensation AND student AND models)
 (combustion AND student AND conceptions) OR (burning AND student AND conceptions)
 (combustion AND student AND ideas) OR (burning AND student AND ideas)
 (combustion AND student AND understanding) OR (burning AND student AND understanding)
 (combustion AND student AND models) OR (burning AND student AND models)
 "thermal decomposition" AND student AND conceptions
 "thermal decomposition" AND student AND ideas
 "thermal decomposition" AND student AND understanding
 "thermal decomposition" AND student AND models

Nesta busca electrónica identificáronse 1180 publicacións potenciais. Na Táboa 2.2 resúmense os resultados desta busca inicial, agrupándose os documentos por tipo de publicación, segundo se traten de guías e/ou informes, libros ou capítulos de libros, artigos, comunicacións en congresos, ou teses de doutoramento. Cómpre sinalar que entre os 1180 documentos identificados inicialmente se

inclúen publicacións que figuran indexadas en máis dunha base de datos. Unha vez eliminadas as publicacións duplicadas, permaneceron un total de 1037 documentos.

Táboa 2.2. Resultados da busca nas bases de datos ERIC, Dialnet, Web of Science e SCOPUS

	ERIC	Dialnet	Web of Science	SCOPUS
Guías e/ou informes	69	0	0	0
Artigos	190	45	434	164
Capítulos de libro	0	0	16	9
Libros	9	4	0	17
Comunicación en congresos	16	4	82	22
Teses de doutoramento	6	93	0	0
Publicacións totais	290	146	532	212

2.3.4 Aplicación dos criterios de inclusión e exclusión

Unha vez identificadas as publicacións potenciais, a seguinte fase da revisión sistemática consistiu na aplicación dos criterios de inclusión e exclusión. Seguindo as recomendacións de Bennett et al. (2005), para a selección dos estudos en base aos criterios definidos recorreuse fundamentalmente á avaliación da información proporcionada nos resumos das publicacións. Naqueles casos nos que esta información fose insuficiente, accedeuse ao texto completo da publicación, centrando a análise nos apartados dedicados á descrición da metodoloxía e á presentación de resultados.

Para dar fiabilidade á revisión, asegurando que os criterios de inclusión e exclusión se aplican de maneira sistemática, autores como Bennett et al. (2005) aconsellan que o cribado dun 5% das publicacións sexa realizado por dous ou máis investigadores de xeito independente, medindo o grao de acordo acadado entre eles mediante o cálculo do coeficiente de acordo entre avaliadores ou coeficiente de kappa de Cohen.

O coeficiente de kappa de Cohen é unha medida estatística que reflicte a proporción de acordo entre dous avaliadores que clasifican N elementos en categorías mutuamente excluíntes (Fonseca, Silva & Silva, 2007). Para o cálculo do coeficiente de kappa de Cohen aplícase a seguinte expresión matemática (Fonseca et al., 2007):

$$\kappa = \frac{P_o - P_a}{1 - P_a}$$

Na ecuación anterior P_a reflicte a proporción de acordo debida ao azar, e P_o representa a proporción de acordo observada, é dicir, o número de elementos que os avaliadores clasifican nunha mesma categoría. Se existe pleno acordo entre os avaliadores, $\kappa=1$. Cando o acordo se debe puramente ao azar, $\kappa=0$. Fleiss (1981) establece que para valores de κ superiores a 0,75 o grado de acordo é excelente, e pode ser cualificado como satisfactorio para valores de κ comprendidos entre 0,40 e 0,75.

Trala aplicación dos criterios de inclusión e exclusión establecidos, das 1037 publicacións potenciais, analízanse 185 e descártanse 852. Para asegurar a consistencia deste proceso, dúas investigadoras da área de Didáctica das Ciencias Experimentais, a autora e a directora da tese, cribaron de maneira independente 52 publicacións extraídas aleatoriamente da mostra total. O coeficiente de kappa de Cohen calculado ao comparar a clasificación de ambas investigadoras foi de 0,78, polo que o grao de acordo se considera excelente. A Figura 2.6 constitúe un esquema do proceso de selección de estudos levado a cabo.

2.3.5 Extracción de datos

Esta fase consistiu na extracción dos datos máis relevantes das 185 publicacións sometidas a análise para producir un rexistro sistemático que facilite a comparación de estudos e a obtención de conclusións (Bennett et al., 2005). A información a recompilar pode facer referencia a aspectos como o ano de publicación, a rexión xeográfica, os obxectivos do estudo, os participantes, os métodos de recollida e análise de datos, ou os achados e conclusións máis salientables (Bennett et al., 2005; Evans et al., 2017).

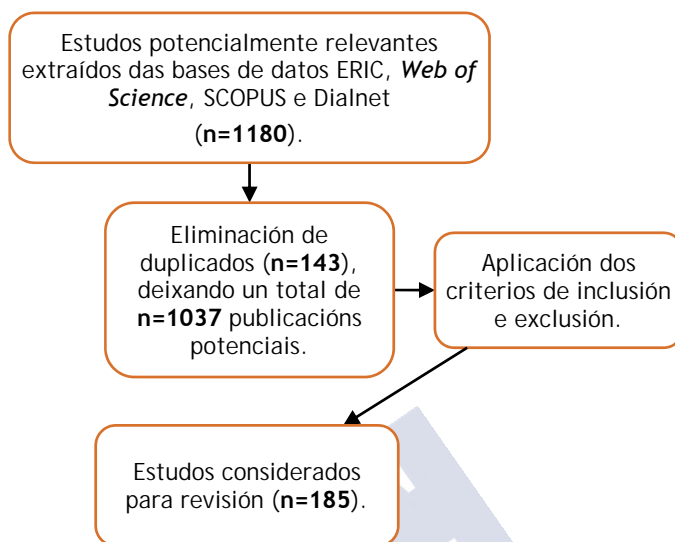


Figura 2.6. Resumo do proceso seguido durante a selección de estudos

Seguindo a liña da revisión sistemática publicada por Hadenfeldt et al. (2014), entre as dimensións analizadas figuran os aspectos da materia abordados (estrutura e composición da materia, principio de conservación da materia, propiedades físicas e cambios físicos, e propiedades químicas e cambios químicos), o obxectivo do estudo, os participantes, o método de recollida de datos, e os resultados máis salientables en virtude da pregunta de investigación arredor da cal xira esta revisión sistemática.

2.3.6 Resultados da revisión sistemática

O protocolo de revisión sistemática adoptado arroxou un total de 185 publicacións para ser sometidas a análise. Desta cantidade, 112 estudos foron publicadas nos últimos dez anos do período analizado (1968-2017), e 15 estudos son publicacións moi actuais (2016-2017). Dos 112 estudos publicados no período comprendido entre 2008-2017, 102 figuran indexados en bases de datos internacionais de alto impacto como *Web of Science*, SCOPUS e ERIC, nove inclúense en

bases de datos de medio ou baixo impacto como Dialnet, e un figura indexado tanto en SCOPUS como en Dialnet.

Adoptando como referencia a revisión de Hadenfeldt et al. (2014), na Táboa 2.3 recóllese a clasificación dos estudos segundo a metodoloxía de investigación empregada e os aspectos da materia analizados. A clasificación referente a tipo de estudo é excluín-te, de maneira que un mesmo traballo só pode ser catalogado como de revisión, lonxitudinal, transversal ou relativo a un único curso. Ao igual que a clasificación relativa a tipo de estudo, o epígrafe correspondente a número de aspectos tratados tamén é excluín-te. Neste epígrafe contabilízanse o número de aspectos da materia que se abordan en cada traballo de investigación, o cal pode oscilar entre un e catro. Este último caso implicaría que dentro dun mesmo traballo de investigación se estarían a analizar todos os aspectos da materia establecidos, é dicir, o principio de conservación da materia, as propiedades e cambios físicos, as propiedades e cambios químicos, e a estrutura e composición da materia. Pola contra, a clasificación referente a aspecto da materia non é excluín-te, pois dentro dun mesmo estudo é posible que sexan abordados de forma simultánea dous ou máis aspectos.

Desde 1968, ano en que foi publicado o primeiro traballo de investigación no domini-o da materia e as súas transformacións, ata abril de 2018, data en que se concluíu a busca, contabilizáronse un total de sete artigos de revisión, dez estudos lonxitudinais, 63 estudos de corte transversal e 105 estudos desenvolto-s nun único curso (ver Táboa 2.3). Non obstante, cómpre destacar que, malia o predomino dos estudos centrados nun curso concreto, desde o 2005 son cada vez máis frecuentes os traballos de investigación cuxos participantes proceden de diferentes cursos ou niveis educativos. Este incremento no número de estudos de corte transversal vai ligado ao crecente interese xurdido nos últimos anos arredor das progresións de aprendizaxe.

Táboa 2.3. Clasificación cronolóxica dos estudos segundo metodoloxía empregada e aspectos básicos da materia analizados (L: Lonxitudinal, T: Transversal, U: Único curso, R: Revisión, Fi: Propiedades e cambios físicos, Qui: Propiedades e cambios químicos, EeC: Estrutura da materia, Con: Principio de conservación)

Ano	Tipo de estudo				Aspecto da materia				N.º de aspectos tratados			
	L	T	U	R	Fi	Qui	EeC	Con	1	2	3	4
1968	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
1982	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
1983	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1987	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
1990	1	2	1	1	4	2	2	4	1	2	1	1
1991	0	2	4	0	3	2	3	3	2	3	1	0
1992	0	1	3	0	2	3	2	3	0	2	2	0
1994	1	1	1	0	3	1	2	1	1	1	0	1
1995	0	3	1	0	2	3	3	2	1	0	3	0
1996	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
1997	0	1	1	0	0	2	1	2	0	1	1	0
1998	1	1	0	1	3	3	3	2	0	0	1	2
1999	0	2	2	0	0	3	2	2	1	2	1	0
2000	1	2	0	0	2	2	1	0	2	0	1	0
2001	1	1	1	0	0	3	1	1	1	2	0	0
2002	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
2003	0	1	2	0	1	3	2	1	1	1	0	1
2004	1	1	5	0	7	3	6	4	1	1	3	2
2005	0	3	4	0	6	5	4	2	2	2	1	2
2006	0	3	4	0	7	2	5	2	2	3	0	2
2007	0	1	5	0	4	3	5	2	1	3	1	1
2008	1	3	6	0	7	5	7	4	2	4	3	1
2009	1	6	8	1	9	9	13	3	5	6	3	2
2010	0	5	10	0	11	8	12	2	3	8	2	2
2011	0	4	6	0	5	5	9	4	2	4	3	1
2012	0	1	9	0	8	5	8	1	2	4	4	0
2013	0	4	11	0	12	10	11	5	3	4	5	3
2014	1	2	9	2	6	9	12	6	3	4	5	2
2015	0	3	2	2	4	3	5	0	2	5	0	0
2016	0	4	2	0	5	3	5	2	0	4	1	1
2017	0	2	7	0	5	3	7	3	3	3	3	0
Total	10	63	105	7	120	104	133	62	43	72	46	24

Por outra banda, os estudos sometidos a análise centráronse en 120 ocasións na comprensión das propiedades físicas e cambios físicos, 104 veces nas propiedades químicas e cambios químicos, 133 veces na estrutura e composición da materia, e 62 veces no principio

de conservación da materia. Asemade, a maioría dos estudos (72) examinaron a comprensión dos participantes acerca de dous aspectos fundamentais da materia, sendo a combinación máis frecuente a de propiedades físicas e cambios físicos, e estrutura e composición da materia. Non obstante, cómpre destacar que desde o 2003 son cada vez máis habituais os estudos nos que se caracteriza de forma simultánea a comprensión dos estudantes acerca dos catros aspectos fundamentais da materia establecidos.

Por outra banda, desagregáronse os estudos en función da idade dos participantes, co propósito de identificar o rango de idade onde menos se exploraron as concepcións e modelos alternativos básicos do alumnado en relación ao campo conceptual asociado á materia e ás súas transformacións. Na Táboa 2.4 recóllese a clasificación dos estudos desenvolto nun único curso segundo a idade dos participantes. Cómpre mencionar que, no caso de aqueles traballos nos que unicamente se sinalaba o curso académico, para situalos dentro dun rango de idade concreto se adoptou como referencia o sistema educativo de Estados Unidos, dado que é o país ao que pertencen a maioría das revistas. Nesta clasificación excluíronse os traballos de Hesse e Anderson (1992), Kern, Wood, Roehrig, e Nyachwaya (2010), Stavy (1991a) e Stojanovska, Petruševski e Šoptrajanov (2012), dado que neles non se especifica nin a idade nin o curso académico dos participantes.

Como pode verse na Táboa 2.4, a meirande parte dos estudos que contemplan un único curso, un total de 32, foron desenvolto con estudantes universitarios, entre os que figuran tanto docentes en formación como alumnado matriculado en titulacións de diferentes ámbitos (Química, Bioloxía, Enxeñaría,...). Este gran interese por caracterizar a comprensión que posúe o profesorado en formación sobre a materia e as súas transformación reside no feito de que os modelos e concepcións alternativas que posúe o profesorado neste eido conceptual poden condicionar a forma de ensinar determinados contidos e limitar a aprendizaxe do alumnado (Marcelo, 1992). No intervalo temporal que abrangue a revisión sistemática tamén foron habituais os estudos desenvolto con estudantes de secundaria de 14-15 anos, dos que se contabilizan 17.

Táboa 2.4. Desagregación dos estudos desenvoltos nun único curso académico segundo a idade dos participantes

Rango de idade	Estudos	N.º total de estudos
7-8 anos	Acher, Arcà & Sanmartí (2007); Varelas, Pappas & Rife (2006)	2
8-9 anos	Southerland, Kittleson, Settlage & Lanier (2005); Wang & Tseng (2018)	2
9-10 anos	Johnson & Papageorgiou (2010); Merino & Sanmartí (2008)	2
10-11 anos	Baek & Schwarz (2015); Hokayem & Schwarz (2014); Kenyon, Schwarz & Hug (2008); Papageorgiou & Johnson (2005); Prain, Tytler & Peterson (2009); Tytler, Prain & Peterson (2007)	6
11-12 anos	Bamberger & Davis (2013); Cañada, Melo & Álvarez (2013); Demircioğlu, Dinç & Çalijk (2013); Fellows (1994); Lee & She (2010); Oshima et al. (2004); Papageorgiou, Grammaticopoulou & Johnson (2010a); Papageorgiou, Johnson & Fotiades (2008); Stamovlasis & Papageorgiou (2012); Tarhan, Ayyıldız, Ogunc & Sesen (2013)	10
12-13 anos	Chang, Quintana & Krajcik (2014); Eilam (2004); Eilks, Moellering & Valanides (2007); Johnston & Scott (1991); Özmen (2011); Samon & Levy (2017)	6
13-14 anos	Abraham, Grzybowski, Renner & Marek (1992); BouJaoude (1991); Çalış (2010); Frändberg, Lincoln & Wallin (2013); Zhang & Linn (2011)	5
14-15 anos	Aragón (2012); Aragón, Oliva & Navarrete (2013, 2014); Ardac & Akaygun (2004, 2005); Kabapinar, Leach & Scott (2004); Kolomuc, Ozmen, Metin & Acisli (2012); López & Vivas (2009); Méndez (2013); Nieswandt (2001); Oliva, Aragón & Cuesta (2015); Prieto, Watson & Dillon (1992); Stamovlasis, Papageorgiou & Tsitsipis (2013); Stamovlasis, Tsitsipis & Papageorgiou (2012); Tsitsipis, Stamovlasis & Papageorgiou (2010); Watson et al. (1997); Watson, Prieto & Dillon (1995)	17
15-16 anos	Bridle & Yezierski (2012); Ceylan & Geban (2009); Gauchon & Méheut (2007); Kingir, Geban & Gunel (2012, 2013); Kirbulut & Beeth (2013a); Sesto & García-Rodeja (2017); Tan, Goh, Chia & Treagust (2003); Valverde, González & de Pro (2017)	9
16-17 anos	Abdullah, Surif & Isamil (2016); Adadan, Irving & Trundle (2009); Adadan, Trundle & Irving (2010); Coştu (2008); Lacolla, Meneses & Valeiras (2014); Solsona, Izquierdo & de Jong (2003)	6

17-18 anos	Agung & Schwartz (2007); Kermen & Méheut (2009, 2011); Niroj & Srisawasdi (2014)	4
Universidade	Akgun (2009); Aydin, Aydemir, Boz, Cetin-Dindar & Bektas (2009); Azizoglu, Alkan & Geban (2006); Bektaş (2017); Borsese, Lumbaca & Pentimalli (1996); Canpolat (2006); Canpolat, Pinarbasi & Sözbilir (2006); Cappannini & Espindola (2017); Chang (1999); Coştu, Ayas & Niaz (2010, 2012); de Jong, Ahtee, Goodwin, Hatzinikita & Koulaidis (1999); Demirbağ & Kingir (2017); Eskilsson & Holgersson (1999); Gopal, Kleinsmidt, Case & Musonge (2004); Jasien (2013); Kind (2014); Kind & Kind (2011); Marais (2011); Membiela & Vidal (2005); Obaya, Vargas & Delgadillo (2008); Papageorgiou, Stamovlasis & Johnson (2010b); Park & Light (2009); Ribeiro, Pereira & Maskill (1990); Robertson & Shaffer (2014); Schwartz & Barbera (2014); Sopandi, Latip & Sujana (2017); Talanquer (2008, 2010); Tümay (2014); Usak, Ozden & Eilks (2011); Yalcin (2012)	32

En relación aos estudos de corte transversal e lonxitudinal (ver Táboa 2.5), o maior intervalo temporal corresponde aos traballos de Benarroch (2000), Holgersson e Löfgren (2004), Levins (1992) e Löfgren e Helldén (2009), ao contar con participantes pertencentes a dez cursos académicos diferentes. Asemade, obsérvase que o rango de idade menos explorado é o correspondente aos 5-6 anos, pois soamente hai un estudo transversal (Paik, Kim, Cho & Park, 2004) e outro lonxitudinal (Bar & Galili, 1994) que inclúen participantes destas idades.

Tras esta visión xeral dos resultados, nos seguintes subapartados desagreganse os estudos sometidos a análise en función da idade dos participantes, especificando para cada rango os modelos e concepcións alternativas máis frecuentes en relación aos distintos aspectos da materia.

Táboa 2.5. Clasificación dos estudos de corte transversal e lonxitudinal segundo a idade dos participantes

	Rango de idades (anos)													
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	>18
Estudos transversais														
Abraham, Williamson & Westbrook (1994)														
Ahtee & Varjola (1998)														
Akgun & Aydin (2010); Johnson (2013); Johnson & Tymms (2011)														
Ayas, Ozmen & Çalik (2010); Claesgens, Scalise, Wilson & Stacy (2009)														
Aydeniz & Kotowski (2012)														
Aydeniz, Bilican & Kirbulut (2017); Ginns & Watters (1995); Jin, Hokayem, Wang & Wei (2016); Leite, Mendoza & Borsese (2007); Merino (2009); Merino & Izquierdo (2011); Serobatse, Selvaratnam & Drummond (2014); Stein, Larrabee & Barman (2008); Yan & Talanquer (2015)														
Badrian, Abdinejad & Naseriazar (2011)														
Basto, Rodríguez, Granda & Muñoz (1999)														
Benarroch (2000)														
Boz (2006); Smothers & Goldston (2010)														
Çalik (2005)														
Çalik & Ayas (2005)														
Carbonell & Furio (1987)														
Chang, Lee & Yen (2010)														
Cheng & Gilbert (2017); Othman, Treagust & Chandrasegaran (2008)														
Cokelez, Dumon & Taber (2008)														
Cuéllar (2009)														

Helldén (1998)															
Holgerson & Löfgren (2004)															
Johnson (2000, 2002); Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer & Blaskeslee (1993)															
Löfgren & Helldén (2008)															
Löfgren & Helldén (2009)															

2.3.6.1 Estrutura e composición da materia

A teoría cinética da materia (TCM) fundaméntase en tres postulados: (1) a materia está formada por partículas moi pequenas (átomos, moléculas ou ións) entre as que existe baleiro; (2) as partículas están en continuo movemento caótico; e (3) entre as partículas existen forzas de cohesión que as manteñen unidas e cuxa intensidade permite diferenciar os tres estados de agregación. Estes tres postulados permiten interpretar moitas das transformacións que experimenta a materia, dado que posibilitan explicar as propiedades macroscópicas da materia a partir das súas propiedades microscópicas (Vázquez, 2016). Sen embargo, diversos estudos (e. g. Benarroch, 2000; Löfgren & Helldén, 2008) poñen de manifesto que os estudantes non empregan o modelo de partículas para dar sentido a fenómenos da vida diaria nos que a materia se transforma, senón que recorren a modelos explicativos alternativos.

En relación ás concepcións e modelos alternativos que posúen os estudantes acerca da estrutura e composición da materia (ver Táboa 2.6), obsérvase que nos primeiros anos de escolarización as nenas e nenos tenden a manifestar unha visión da materia continua (Merino & Sanmartí, 2008; Papageorgiou et al., 2008; Samon & Levy, 2017) ou ben unha incipiente visión discreta, segundo a cal as substancias consisten nun conxunto de pezas que presentan as mesmas características que as substancias das que forman parte (Acher et al., 2007). No estudo levado a cabo por Acher et al. (2007) atopouse que as nenas e os nenos (7-8 anos) describían a estrutura interna dunha esponxa en termos de fíos máis suaves e delgados. Arredor dos dez anos comeza a aparecer a idea de que a materia está formada por partículas, pero a estas atribúeselle comportamento macroscópico

(Eilam, 2004; Stamovlasis et al., 2013), sendo frecuentes as interpretacións nas que se fai referencia a que as partículas se dilatan, cambian de estado de físico, mudan de cor... O feito de trasladar as propiedades e os cambios observados nas substancias ao mundo microscópico constitúe unha concepción alternativa altamente recorrente e resistente ao cambio, pois obsérvanse en distintos momentos da escolarización afectando tamén a estudantes universitarios (e. g. Cappannini & Espíndola, 2017; Kind, 2014). Desde un punto de vista científico, cómpre mencionar que os átomos que integran un elemento ou un composto non posúen as propiedades físicas de dito elemento ou composto, de aí que non sexa posible dicir que un átomo se funde ou ten unha cor determinada. As propiedades físicas das sustancias son propiedades macroscópicas, é dicir, dependen do comportamento colectivo dun gran número de átomos (Alsina et al., 2005).

Estas concepcións ou modelos alternativos acerca da estrutura e composición da materia son similares aos niveis explicativos descritos no estudo de Benarroch (2000). Segundo esta autora, existen cinco niveis explicativos (I, II, III, IV e V) acerca da natureza corpuscular da materia. No nivel I os estudantes exhiben unha visión continúa e estática da materia, e non senten a necesidade de mudar o seu modelo para explicar os cambios que acontecen na materia pois os fenómenos ocorren por que si. O nivel II tamén se caracteriza por unha visión continúa da materia, pero incorpora elementos como burbullas ou ocos co fin de interpretar as observacións empíricas. O nivel III incorpora a idea de que a materia está constituída por partículas, e ante os cambios na materia os estudantes constrúen explicacións baseadas na atribución de comportamento macroscópico e na consideración e ocos entre partículas que están cheos de algún contido etéreo. O nivel IV é similar ao nivel III, pero admitindo a idea de baleiro entre as partículas, mentres que o nivel V é compatible coa visión científica (Benarroch, 2000). Tendo en conta o marco conceptual de Benarroch (2000) e os resultados desta revisión sistemática, pódese concluír que a maioría dos estudantes constrúen modelos acerca da natureza corpuscular da materia que se se sitúan nos niveis explicativos I, II ou

III, e que non existe correlación directa entre os niveis identificados e a idade dos participantes.

Táboa 2.6. Concepcións e modelos alternativos do alumnado acerca da estrutura e composición da materia

Ideas	Idade	Autores
A materia é continua, especialmente no estado sólido.	9-11 anos	Merino & Sanmartí (2008)
	11-12 anos	Cañada et al. (2013); Papageorgiou et al. (2010a); Papageorgiou et al. (2008)
	12-13 anos	Eilam (2004); Samon & Levy (2017)
	14-15 anos	Badrian et al. (2011); Basto et al. (1999); Cuéllar (2009)
	16-17 anos	Adadan et al. (2009); Cuéllar (2009)
Os materiais consisten nun conxunto de pequenas porcións de materia ou pezas que presentan as mesmas características que o material do que forman parte.	7-8 anos	Acher et al. (2007)
A materia está constituída por partículas que presentan comportamento macroscópico (fúndense, dilátanse, cambian de cor, etc.).	9-10 anos	Johnson & Papageorgiou (2010)
	10-11 anos	Tytler et al. (2007)
	11-12 anos	Lee et al. (1993); Papageorgiou et al. (2010a); Papageorgiou et al. (2008); Stevens et al. (2013)
	12-13 anos	Eilam (2004); Stevens et al. (2013)
	14-15 anos	Basto et al. (1999); Othman et al. (2008); Stamovlasis et al. (2013); Stevens et al. (2013)
	15-16 anos	Othman et al. (2008); Stevens et al. (2013)
	16-18 anos	Stevens et al. (2013); Treagust et al. (2011)
	Docentes en formación e universidade	Cappannini & Espíndola (2017); Kind (2014); Papageorgiou et al. (2010b)
	11-12 anos	Lee et al. (1993)
Entre as partículas que constitúen a materia existen outras substancias como aire.	16-17 anos	Adadan et al. (2009); Adbo & Taber (2014)
	Docentes en formación	Papageorgiou et al. (2010b); Sopandi et al. (2017)

A materia está formada por partículas que permanecen estáticas, especialmente no estado sólido.	11-12 anos	Stevens et al. (2013)
	12-13 anos	Boz (2006); Stevens et al. (2013)
	14-15 anos	Badrian et al. (2011); Boz (2006); Stevens et al. (2013)
	16-17 anos	Adadan et al. (2009); Badrian et al. (2011); Stevens et al. (2013)
	17-18 anos	Boz (2006); Stevens et al. (2013)
	Docentes en formación	Borsese et al. (1996); Sopandi et al. (2017)
As partículas no estado sólido están substancialmente máis separadas que no estado líquido.	16-17 anos	Adbo & Taber (2014)
Ao arrefriar as partículas que constitúen a materia contraéanse, e ao quentar as partículas expándense.	14-15 anos	Badrian et al. (2011)
	15-16 anos	Badrian et al. (2011)
	16-17 anos	Abdullah et al. (2016); Badrian et al. (2011)
O tamaño das partículas aumenta ou diminúe durante os cambios de estado.	11-13 anos	Aydeniz & Kotowski (2012); Demircioğlu et al. (2013); Özmen (2011)
	14-17 anos	Aydeniz & Kotowski (2012); Frändberg et al. (2013)
	17-18 anos	Niroj & Srisawasdi (2014)
A dilatación dos materiais implica a nivel microscópico un aumento no número de partículas.	11-12 anos	Stevens et al. (2013)
	12-13 anos	Özmen (2011); Smothers & Goldston (2010); Stevens et al., (2013)
	14-15 anos	Basto et al. (1999); Smothers & Goldston (2010); Stevens et al. (2013)
	15-18 anos	Stevens et al. (2013)
	Docentes en formación	Sopandi et al. (2017)
As moléculas no vapor de auga teñen menos masa que as moléculas no estado líquido.	11-13 anos	Aydeniz & Kotowski (2012)
	14-17 anos	Aydeniz & Kotowski (2012)
	Universitarios	Coştu et al. (2012)

Por outra banda, a idea de que as partículas están en continuo movemento resulta aínda máis difícil de admitir por parte dos estudantes cando se lles pregunta acerca do estado sólido debido á influencia que exerce a percepción sensorial sobre as interpretacións. Independentemente da idade, os estudantes tenden a considerar que as partículas no estado sólido permanecen inmóbiles (Boz, 2006;

Sopandi et al., 2017; Stevens et al., 2013). Desde o punto de vista científico, no estado sólido as partículas non poden moverse trasladándose libremente, pero isto non implica que permanezan en absoluto repouso, senón que se atopan vibrando ou oscilando arredor de posicións fixas.

Tamén son frecuentes as concepcións alternativas segundo as cales as partículas mudan de tamaño cando se produce un cambio de estado, ou cando se modifica a temperatura. Por exemplo, Aydeniz e Kotowski (2012) atoparon que algúns dos participantes do seu estudo (11-17 anos) consideraban que as moléculas de auga no estado sólido son máis pequenas que no estado líquido. Outros autores como Badrian et al. (2011) observaron que unha parte dos participantes (14-17 anos) pensaban que ao quentar un sólido as partículas se expandían e que ao arrefriar se contraían. Estas ideas afastadas do punto de vista da ciencia escolar son semellantes ás descritas no traballo de Domínguez, de Pro e García-Rodeja (2003). Estes autores tamén atoparon que algúns participantes (12-13 anos) interpretaban a dilatación dun sólido como un aumento no tamaño ou na cantidade das partículas que o constituían.

2.3.6.2 Principio de conservación da materia

O principio de conservación da materia constitúe unha das leis ponderais e foi enunciado por Lavoisier en 1785. Desde o punto de vista científico, este principio establece que a materia non se crea nin se destrúe, senón que se transforma. Este enunciado implica que nun sistema pechado a masa total das substancias existentes non cambia aínda que teña lugar calquera transformación, sexa física ou química. En virtude da teoría atómico-molecular, cando ten lugar unha reacción química prodúcese unha reorganización dos átomos que constitúen as moléculas para formar novas moléculas, de maneira que o que se conserva durante un cambio químico non son as moléculas, senón os átomos.

Na Táboa 2.7 figuran as concepcións e modelos alternativos máis frecuentes que posúen os estudantes acerca do principio de conservación da materia. Como se observa na Táboa 2.7, unha idea alternativa fortemente arraigada entre os estudantes, que afecta tanto a

estudiantes de educación primaria como a profesorado en formación, é aquela que fai referencia a que a masa non se conserva naquelas transformacións da materia nas que interveñen substancias gasosas (Gabel et al., 2001; Kind, 2014; Othman et al., 2008). Este incumprimento do principio de conservación ten a súa orixe noutra concepción alternativa amplamente estendida segundo a cal os gases carecen de masa, ou ben esta é desprezable (Perales & Cañal, 2000; Stavy, 1990a).

Táboa 2.7. Concepcións e modelos alternativos do alumnado arredor do principio de conservación da materia

Ideas	Idade	Autores
Cando nunha reacción química se forma un precipitado, a masa do sistema aumenta.	17-18 anos	Agung & Schwartz (2007)
A masa non se conserva naquelas transformacións da materia nas que participan substancias gasosas, xa que os gases carecen de masa.	8-13 anos	Gabel et al. (2001); Lee et al. (1993); Stavy (1990a, 1990b)
	14-15 anos	Basto et al. (1999); Méndez (2013); Othman et al. (2008); Stavy (1990a, 1990b)
	15-16 anos	Othman et al. (2008)
	17-18 anos	Agung & Schwartz (2007)
	Docentes en formación	Kind (2014); Kind & Kind (2011); Usak et al. (2011)
A calor, o lume e/ou a luz teñen carácter material.	6-9 anos	Stavy (1991b)
	11-12 anos	Cañada et al. (2013); Lee et al. (1993)
	14-15 anos	Basto et al. (1999); Lowe (1997); Méndez (2013); Prieto et al. (1992)
	16-18 anos	Haidar & Abraham (1991)
	Docentes en formación	Kind (2014); Kind & Kind (2011)
Nunha reacción química consérvase tanto a masa total, como os átomos e as moléculas.	Universitarios	Schwartz & Barbera (2014)

Ademais, entre os estudantes de diferentes cursos son frecuentes as respostas nas que se sinala que a enerxía se transforma en materia (Cañada et al., 2013; Kind & Kind, 2011; Méndez, 2013). Por exemplo, ao pedir aos estudantes que intentasen explicar por que aumentaba a masa ao queimar un anaco de magnesio, Méndez (2013)

atopou que máis do 50% dos participantes (14-15 anos) facían referencia a que as cinzas pesaban máis por mor da calor subministrada ao magnesio, outorgándolle á calor carácter material. Outros autores como Cañada et al. (2013) concluíron que os participantes no seu estudo (11-12 anos) non eran quen de distinguir a materia das entidades inmateriais, pois á hora de identificar de entre varias opcións cales eran materia, arredor dun 40% dos participantes sinalaron tanto a luz como o lume. Esta consideración da calor, do lume ou da luz como substancias materiais ten consecuencias directas na interpretación dos cambios químicos, de aí que sexan frecuentes os estudos nos que se sinala que o alumnado describe reaccións como a combustión como unha transmutación do osíxeno en lume (e. g. Prieto et al., 1992; Sesto & García-Rodeja, 2017).

2.3.6.3 Propiedades físicas e cambios físicos

Desde o punto de vista científico, por cambios físicos enténdense aquelas transformacións da materia nas que se modifican as propiedades físicas das substancias, pero a composición química mantense constante. Malia que a reversibilidade non é o criterio a seguir para diferenciar un cambio químico dun cambio físico, polo xeral os cambios físicos son reversibles, isto é, a materia pode regresar ao seu estado orixinal. Os cambios de estado son cambios de tipo físico nos que se modifica o estado de agregación das substancias. En virtude da teoría cinético-corpúscular da materia, durante un cambio de estado non se produce ningún cambio no número ou natureza das partículas, senón que simplemente cambian as súas posicións relativas debido a que a intensidade das forzas de cohesión que existen entre elas varía (Cane & Sellwood, 1994). No estado sólido, as forzas de cohesión entre as partículas son moi intensas, de aí que as partículas se atopen estreitamente empacetas posuíndo unicamente un lixeiro movemento de vibración arredor dunha posición fixa. Esta disposición xustifica o comportamento a nivel macroscópico dos sólidos que se caracterizan por posuír forma e volume constantes. No estado líquido, como as forzas de atracción mutuas seguen a ser bastante intensas, as partículas están próximas entre si, pero posúen liberdade de movemento. Isto xustifica que os líquidos poidan cambiar de forma,

adaptándose ao recipiente que ocupan. No estado gasoso as forzas de atracción entre as partículas son moi febles, de aí que se atopen moi afastadas unhas de outras e se movan libremente por todo o espazo dispoñible. Isto xustifica que os gases posúan forma e volume variables, podendo comprimirse ou expandirse facilmente (Burns, 2011). Entre os cambios de estado distínguense a fusión (paso de sólido a líquido), a solidificación (paso de líquido a sólido), a vaporización (paso de líquido a gas), a condensación (paso de gas a líquido), a sublimación (paso de sólido a gas), e a sublimación inversa ou regresiva (paso de gas a sólido). Ademais, a vaporización pode transcorrer como evaporación ou ebulición. A ebulición constitúe o paso de líquido a gas que afecta a toda a masa de fluído, transcorre a unha temperatura concreta denominada temperatura de ebulición, e caracterízase pola formación de burbullas, as cales conteñen a substancia en estado vapor. En cambio, a evaporación é un fenómeno que soamente afecta á superficie do líquido, pode ter lugar a temperaturas máis baixas que a de ebulición e transcorre sen signos evidentes.

Na Táboa 2.8 recóllense as concepcións máis habituais dos estudantes arredor das propiedades físicas e os cambios físicos. Como se pode observar na Táboa 2.8, entre estudantes de diferentes idades é frecuente considerar que as disolucións que suceden por dispersión ou solvatación (Ortolani, Falicoff, Domínguez & Odetti, 2012), e os cambios de estado son reaccións químicas en lugar de ser cambios de tipo físico (Cañada et al., 2013; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b; López & Vivas, 2009; Valverde et al., 2017). Por exemplo, Cañada et al. (2013) atoparon que a maioría dos participantes (11-12 anos) consideraban que engadir sal á sopa constitúe un cambio químico. Por outra parte, tamén é habitual que os estudantes de diferentes idades non identifiquen correctamente o tipo de cambio físico que ten lugar, sendo unha confusión frecuente a consideración da disolución de substancias sólidas solubles no líquido ao que se agregan como unha fusión do soluto (Çalik & Ayas, 2005; Haidar & Abraham, 1991; Kingir et al., 2013). Por exemplo, Kingir et al. (2013) atoparon que un 32% dos participantes (15-16 anos) describían a disolución de sal en auga como unha fusión do soluto.

Çalik e Ayas (2005) obtiveron un resultado similar con docentes en formación e estudantes de 14-15 anos, pois ambos grupos de participantes interpretaron a disolución de azucre en auga como un cambio de estado do azucre.

Táboa 2.8. Concepcións e modelos alternativos dos estudantes acerca das propiedades físicas e cambios físicos.

Ideas	Idade	Autores
Durante o proceso de condensación de vapor de auga hai unha transmutación do aire a auga en estado líquido.	16-17 anos	Abdullah et al. (2016)
	17-18 anos	Coştu (2008)
	Docentes en formación e universitarios	Chang (1999); Coştu et al. (2012)
Durante o proceso de condensación hai unha transmutación do frío en auga en estado líquido.	10-11 anos	Tytler et al. (2007)
	12-17 anos	Osborne & Cosgrove (1983)
Durante o proceso de condensación a auga aparece porque existe unha fuga de líquido.	8-15 anos	Osborne & Cosgrove (1983); Prain et al. (2009)
Durante o proceso de condensación de vapor de auga o hidróxeno e o osíxeno combínanse para formar auga.	15-16 anos	Kirbulut & Beeth (2013a); Kirbulut & Beeth (2013b)
	17- 18 anos	Kirbulut & Beeth (2013b)
	Docentes en formación	Aydeniz et al. (2017)
Durante o proceso de condensación de vapor de auga fórmase auga porque se funde o xeo.	8-11 anos	Paik et al. (2004); Papageorgiou & Johnson (2005)
	Docentes en formación	Chang (1999)
As burbullas que se forman durante a ebulición son de aire, dióxido de carbono, calor, ou unha mestura de osíxeno e hidróxeno.	8-12 anos	Osborne & Crogrove (1983); Paik et al. (2004); Papageorgiou & Johnson (2005); Prain et al. (2009)
	15-16 anos	Ceylan & Geban (2009)
	17-18 anos	Niroj & Srisawasdi (2014)
	Docentes en formación e universitarios	Aydeniz et al. (2017); Aydin et al. (2009); Chang (1999); Kind (2014); Kind & Kind (2011); Papageorgiou et al. (2010b); Stein et al. (2008)
O punto de fusión das substancias é constante independentemente dos cambios de presión.	Docentes en formación	Azizoglu et al. (2006)
Durante a vaporización o líquido	5-6 anos	Bar & Galili (1994)

(auga, alcohol, etc.) desaparece.	9-11 anos	Stavy (1990a)
	11-12 anos	Papageorgiou et al. (2008); Stavy (1990a)
	12-15 anos	Stavy (1990a)
Durante a vaporización o líquido (auga, alcohol, etc.) é absorbido polas paredes do recipiente que o contén.	7-8 anos	Bar & Galili (1994)
	11-12 anos	Papageorgiou et al. (2008)
Durante a vaporización, o líquido desprázase cara outras localizacións como o ceo ou as nubes.	7 anos	Löfgren & Helldén (2008)
	9-10 anos	Bar & Galili (1994)
	10-11 anos	Kenyon et al. (2008)
Na vaporización da auga rómpense os enlaces intramoleculares liberándose os gases hidróxeno e osíxeno.	11-12 anos	Akgun & Aydin (2010); Aydeniz & Kotowski (2012)
	14-17 anos	Aydeniz & Kotowski (2012); García-Rodeja & Sesto (2016); Kirbulut & Beeth (2013a); Kirbulut & Beeth (2013b); Othman et al. (2008)
	18 anos	Kirbulut & Beeth (2013b)
	Docentes en formación e universitarios	Coştu et al. (2010); García-Rodeja & Sesto (2016); Kind (2014); Schwartz & Barbera (2014)
Para que teña lugar unha vaporización é necesario que exista un gradiente de temperatura entre o ambiente e o líquido.	Docentes en formación e universitarios	Canpolat (2006); Coştu et al. (2010); Demirbağ & Kingir (2017); Gopal et al. (2004); Obaya et al. (2008)
A vaporización non ten lugar en sistemas adiabáticos.	Universitarios	Canpolat (2006)
Para que un líquido se evapore é preciso quentalo ata a temperatura de ebulición.	8-10 anos	Saglam & Ozbek (2016)
	15-16 anos	Kirbulut & Beeth (2013a); Kirbulut & Beeth (2013b)
	17-18 anos	Kirbulut & Beeth (2013b)
	Docentes en formación e universitarios	Canpolat et al. (2006); Coştu et al. (2010); Demirbağ & Kingir (2017); Yalcin (2012)
A disolución dunha substancia por dispersión ou solvatación é un cambio de estado.	9-13 anos	Stavy (1990b)
	13-14 anos	Abraham et al. (1992); Stavy (1990b)
	14-15 anos	Çalik & Ayas (2005); Othman et al. (2008); Stavy (1990b)
	15-16 anos	Kingir et al. (2013); Othman et al. (2008)
	16-18 anos	Haidar & Abraham (1991)
	Docentes en	Çalik & Ayas (2005)

	formación	
A disolución dunha substancia por dispersión ou solvatación é un cambio químico.	11-12 anos	Cañada et al. (2013); Tarhan et al. (2013)
	12-13 anos	Ahtee & Varjola (1998)
	13-14 anos	Abraham et al. (1992); Ahtee & Varjola (1998)
	14-15 anos	López & Vivas (2009); Valverde et al. (2017)
	15-16 anos	Ahtee & Varjola (1998); Valverde et al. (2017)
A mestura de substancias é un cambio químico.	12-13 anos	Smothers & Goldston (2010)
	14-15 anos	Smothers & Goldston (2010); Valverde et al. (2017)
	15-16 anos	Valverde et al. (2017)

En relación aos cambios de estado, existe unha vasta literatura que centra o foco de interese nas concepcións e modelos alternativos do alumnado arredor do fenómeno de vaporización (e. g. Aydeniz & Kotowski, 2012; Bar & Galili, 1994; Coştu et al., 2010; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b; Osborne & Crosgrave, 1983; Othman et al., 2008; Papageorgiou et al., 2008; Prain et al., 2009) e o fenómeno de condensación (e. g. Abdullah et al., 2016; Aydeniz et al., 2017; Chang, 1999; Coştu, 2008; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b; Osborne & Crosgrave, 1983; Papageorgiou & Johnson, 2005; Prain et al., 2009; Tytler et al., 2007).

Bar e Galili (1994) estableceron unha progresión de aprendizaxe acerca da comprensión que posúe o alumnado arredor do cambio de estado de líquido a vapor a través da comparación das respostas que estudantes de diferentes idades (5-14 anos) daba a diversos fenómenos como a evaporación de auga nun recipiente ou o secado da roupa. Estes autores estableceron que a percepción que posúe o alumnado arredor da evaporación da auga atravesa as seguintes etapas: a auga desaparece (entre 3 e 5 anos), a auga é absorbida polas superficies (7 anos), e a auga desprázase cara outras localizacións (9 anos). Bar e Galili (1994) observaron que a noción de cambio de estado a vapor non aparece ata os 13 anos.

En estudos posteriores arredor deste concepto foron identificadas concepcións alternativas semellantes, pero en rangos de idade máis amplos que os determinados por Bar e Galili (1994). Noutros estudos (e. g. Papageorgiou et al., 2008; Stavy, 1900a) observouse que a

concepción alternativa que fai referencia a que durante unha vaporización o líquido desaparece se mantén ata os 15 anos. Outros autores tamén observaron que dos 7 aos 11 anos son especialmente recorrentes tanto a idea de que o líquido desaparece porque foi absorbido polas paredes do recipiente que ocupa (Papageorgiou et al., 2008) como a idea que fai referencia a que durante a vaporización o líquido desaparece porque foi desprazado cara outras localizacións como o ceo ou as nubes (e. g. Kenyon et al., 2008; Löfgren & Helldén, 2008). Asemade, a idea de que a vaporización implica a ruptura de enlaces intramoleculares liberándose hidróxeno e osíxeno gasoso trátase dunha idea fortemente arraigada entre o alumnado que aparece arredor do 14 anos e segue a persistir entre docentes en formación (e. g. Aydeniz & Kotowski, 2012; Coştu et al., 2010; García-Rodeja & Sesto, 2016; Kind, 2014; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b; Othman et al., 2008; Schwartz & Barbera, 2014). Esta concepción alternativa deriva das dificultades do alumnado para distinguir entre cambios físicos e cambios químicos.

En relación tamén coa vaporización, outros autores (e. g. Canpolat et al., 2006; Coştu et al., 2010; Demirbağ e Kingir, 2017; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b; Saglam & Ozbek, 2016; Yalcin, 2012) atoparon que unha elevada proporción do alumnado tende a considerar que para que un líquido se evapore é preciso que acade a temperatura de ebulición. Esta concepción pode manifestarse tanto en estudantes de 8 anos como en docentes en formación ou alumnado universitario. Outra idea alternativa amplamente recorrente e independente da idade ten que ver coa composición da burbullas que se forman durante o proceso de ebulición da auga líquida. Desde o punto de vista científico, considérase que o alumnado posúe un coñecemento axeitado da ebulición cando é quen de explicar que as burbullas que se forman conteñen auga en estado vapor (Paik et al., 2004). Porén, diferentes estudos (e. g. Aydeniz et al., 2017; Aydin et al., 2009; Ceylan & Geban, 2009; Chang, 1999; Kind, 2014; Kind & Kind, 2011; Niroj & Srisawasdi, 2014; Osborne & Crosgrove, 1983; Papageorgiou et al., 2010b; Prain et al., 2009; Stein et al., 2008) evidencian que o alumnado considera que as burbullas están formadas por aire ou

outros compoñentes como hidróxeno, osíxeno ou dióxido de carbono, e incluso algúns chegan a sinalar que as burbullas conteñen calor. Esta última percepción da composición das burbullas presupón unha transmutación de materia en enerxía.

En torno ao proceso de condensación, un dos conceptos fundamentais en Química que permite explicar numerosos fenómenos que suceden na vida diaria (Kirbulut & Beeth, 2013a), tamén existen diversas concepcións alternativas. En virtude do marco conceptual desenvolto por Andersson (1990), diversos autores atoparon que estudantes de diferentes idades tenden a describir a condensación en termos de transmutación de substancias. Os traballos sometidos a análise suxiren que inicialmente (arredor dos 10 anos) o alumnado interpreta a condensación en termos dunha transmutación de frío en auga (e. g. Osborne & Crosgrave, 1983; Tytler et al., 2007), e que posteriormente esta percepción muda pasando a considerar a auga líquida como o resultado da transmutación do aire (e. g. Abdullah et al., 2016; Chang, 1999; Coştu, 2008; Coştu et al., 2012). Outros estudos (e. g. Osborne & Crosgrave, 1983; Tytler et al., 2007) suxiren que dos 8 aos 15 anos tamén é frecuente que os estudantes consideren que o líquido aparece como resultado dunha fuga. A idea de que a auga aparece como resultado da combinación do hidróxeno e o osíxeno aparece aos 15 anos e mantense en docentes en formación (e. g. Aydeniz et al., 2017; Kirbulut & Beeth, 2013a; Kirbulut & Beeth, 2013b). Esta apreciación da condensación está ligada á dificultade que posúen os estudantes para diferenciar entre cambios físicos e químicos, xa que esta interpretación baseada na combinación de átomos implica unha ruptura e formación de enlaces intramoleculares.

2.3.6.4 Propiedades químicas e cambios químicos

Desde o punto de vista científico, un cambio químico consiste nun proceso polo cal unha sustancia ou substancias iniciais denominadas reactivos se transforman noutra ou noutras substancias finais denominadas produtos que presentan unha composición e propiedades químicas diferentes. Desde a perspectiva da teoría atómico-molecular, unha transformación química implica unha redistribución de átomos ou ións, formándose novas estruturas

(moléculas ou redes cristalinas) (Raviolo, Garritz & Sosa, 2011). Na Táboa 2.9 recóllense as concepcións alternativas máis frecuentes en torno aos cambios químicos e as propiedades químicas das substancias, desagregadas por rango de idade.

Táboa 2.9. Concepcións e modelos alternativos dos estudantes acerca das propiedades químicas e os cambios químicos

Ideas	Idade	Autores
Durante unha reacción química as moléculas consérvanse.	11 anos	Johnson (2000)
	12-14 anos	García-Franco & Taber (2009); Johnson (2000)
	15-17 anos	Cokelez et al. (2008); García-Franco & Taber (2009)
	18 anos	Cokelez et al. (2008)
Non se identifican reactivos ou produtos en estado gasoso.	14-15 anos	Watson et al. (1997)
	Secundaria	Hesse & Andersson (1992)
	Universidade	Kind (2014)
Os cambios químicos son sempre irreversibles.	11 anos	Tarhan et al. (2013)
	Secundaria	Stojanovska et al. (2012)
O equilibrio químico que se acada nas reaccións reversibles non ten carácter dinámico.	17-18 anos	Kermen & Méheut (2009)
	Universitarios	Yan & Talanquer (2015)
As reaccións químicas son sempre exotérmicas.	12-13 anos	Eilks et al. (2007)
A ruptura de enlaces é un proceso exotérmico, mentres que a formación de novos enlaces é un proceso endotérmico.	16-18 anos	Boo & Watson (2001)
	Universidade	Jin et al. (2016)
Un cambio químico non implica a ruptura de enlaces intramoleculares.	15-18 anos	Cokelez et al. (2008)
Todos os reactivos que participan nunha reacción química se transforman ao completo con independencia da relación estequiométrica.	15-16 anos	Gauchon & Méheut (2007)
Para que teña lugar unha reacción química precísanse polo menos dous reactivos.	12-13 anos	Eilks et al. (2007)
	16 anos	Lacolla et al. (2014)
A combustión dunha candeia constitúe un cambio físico, en concreto, trátase dunha fusión.	6-10 anos	Holgersson & Löfgren (2004)
	11-12 anos	Holgersson & Löfgren (2004); Papageorgiou et al. (2010a)
	13 anos	BouJaoude (1991); Holgersson & Löfgren (2004)
	14 anos	Abraham et al. (1992); Çalik

		& Ayas (2005); Holgersson & Löfgren (2004); Lowe (1997); Prieto et al. (1992)
	15 anos	Abraham et al. (1992); Holgersson & Löfgren (2004); Prieto et al. (1992)
	16 anos	Abraham et al. (1992); Holgersson & Löfgren (2004)
	16-18 anos	Abraham et al. (1992)
	Universidade	Çalik & Ayas (2005)
A combustión do alcohol constitúe un cambio físico, en concreto, trátase dunha vaporización.	13 anos	BouJaoude (1991)
	14-15 anos	Prieto et al. (1992)
A descomposición térmica do azucre constitúe unha combustión.	8-12 anos	Gabel et al. (2001)
	13 anos	BouJaoude (1991); Gabel et al. (2001)
A descomposición electrolítica da auga constitúe un cambio físico, en concreto, trátase dunha ebulición.	12-13 anos	Carbonell & Furió (1987)
Durante a combustión dalgúns sistemas materiais como o papel, o cartón ou a madeira, os reactivos desaparecen despois de arder.	9-12 anos	Chang et al. (2010)
	14-15 anos	Nieswandt (2001)
O combustible nunha candeia non é a cera.	8-10 anos	Gabel et al. (2001)
	11-12 anos	Gabel et al. (2001); Johnson (2002)
	13 anos	BouJaoude (1991); Gabel et al. (2001); Johnson (2002)
	14 anos	Johnson (2002)
A corrosión constitúe un cambio de estado.	11 anos	Demircioğlu et al. (2013); Tarhan et al. (2013)
	12 anos	Demircioğlu et al. (2013)
	14-15 anos	López & Vivas (2009)

Como sinalan Casado e Raviolo (2005), é habitual que os estudantes asocien a idea de reacción química con “mesturar substancias”, de aí que conciban as transformacións químicas como aqueles procesos nos que dúas ou máis substancias interactúan para formar outras substancias e negan a existencia de reaccións como unha descomposición térmica na que un único reactivo orixina diferentes produtos (e. g. Eilks et al., 2007; Lacolla et al., 2014). A interpretación dos cambios que se observan nas sustancias ao intentar descompoñelas noutras máis simples, ben por quentamento (descomposición térmica) ou por aplicación de corrente eléctrica

(descomposición electrolítica), require establecer hipóteses arredor da estrutura e composición das substancias (Caamaño, 2019), e diversos estudos xa expuxeron as dificultades do alumnado de diferentes idades para transitar desde o dominio microscópico ao macroscópico e viceversa. Ligada a esta dificultade para concibir reaccións químicas nas que participe un único reactivo, atópase a idea de que a descomposición electrolítica da auga constitúe un cambio físico. Nun estudo no que participaron estudantes desde 7º de EXB ata Química de COU, Carbonell e Furió (1987) observaron como os estudantes de menor idade concibían as burbullas que se forman durante a descomposición electrolítica da auga como evidencias de que a auga estaba a ferver, identificando a cubeta onde se levara a cabo o proceso cun termo no que quentar auga.

Outros autores (e. g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001) obtiveron resultados semellantes ao pedir aos estudantes que interpretasen a descomposición térmica do azucre. Estes autores observaron que o alumnado (8-13 anos) tende a describir o fenómeno como unha combustión do azucre, introducindo a participación dun segundo reactivo (aire ou osíxeno). A cor negra dos produtos obtidos durante o proceso, consistentes fundamentalmente por carbono, era interpretada polos estudantes como sinais de que o azucre se queimara (BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001).

Pola súa parte, Gauchon e Méheut (2007) atoparon que os estudantes (15-16 anos) non teñen en conta o concepto de reactivo limitante no momento de predicir a proporción de produtos e reactivos ao final dunha reacción química irreversible, de aí que consideren que todos os reactivos se consumen por completo con independencia da relación estequiométrica. Desde o punto de vista científico, unha reacción irreversible sempre evoluciona desde os reactivos ata os produtos ata que se consume totalmente ao menos un dos reactivos, denominado reactivo limitante, que é aquel que se atopa en menor proporción (Izquierdo, Cunill, Tejero, Iborra & Fité, 2004). Ligado tamén ao concepto de reversibilidade, noutros traballos (e. g. Stojanovska et al., 2012; Tarhan et al., 2013) atopouse que os estudantes consideran que as reaccións químicas son sempre irreversibles. Os estudantes tenden a basearse no criterio de

reversibilidade para decidir o tipo de transformación que sofre a materia, de maneira que os cambios físicos son reversibles e os cambios químicos son irreversibles (Tarhan et al., 2013). Sen embargo, a irreversibilidade non constitúe un requirimento *sine qua non* para definir unha transformación como un cambio químico. Na natureza hai procesos químicos reversibles e irreversibles. Desde o punto de vista científico, dise que unha reacción química é reversible cando os produtos tamén reaccionan entre si para rexenerar os reactivos, dando lugar a un proceso en dobre sentido que desemboca en equilibrio químico. O feito de que se acade esta situación de equilibrio nunha reacción química reversible non quere dicir que as substancias deixen de reaccionar entre si. O equilibrio químico é un equilibrio dinámico. Tanto o proceso directo (formación de produtos) como o proceso inverso (formación de reactivos) seguen a producirse pero con igual velocidade de reacción nos dous sentidos, de aí que nesta situación de equilibrio se recompoñan tantas moléculas como se destrúen manténdose a composición do sistema constante. Sen embargo, os estudos acerca das concepcións do alumnado sobre as reaccións reversibles revelan que incluso os estudantes universitarios posúen unha concepción estática do equilibrio químico (Kermen & Méheut, 2009; Yan e Talanquer, 2015). Yan e Talanquer (2015) atoparon que un importante número de estudantes universitarios consideraban que a reacción se detiña ao acadarse o equilibrio químico. Ao non activar os esquemas de interpretación microscópicos, os estudantes basean o seu coñecemento no comportamento macroscópico do sistema, no que non se observan cambios ao acadarse o equilibrio.

En canto aos estudos que se centran na enerxía das reaccións químicas, outros autores (e. g. Boo & Watson, 2001; Jin et al., 2016) atoparon que incluso os estudantes universitarios describen a ruptura de enlaces como un proceso exotérmico e a formación de enlaces como un proceso endotérmico. Desde o punto de vista científico, durante unha reacción química ten lugar a ruptura de enlaces entre os átomos que integran os reactivos e fórmanse novos enlaces entre os átomos para xerar os produtos. A ruptura de enlaces require de enerxía para que se separen os átomos (proceso endotérmico). Sen embargo, a

formación de novos enlaces libera enerxía (proceso exotérmico). A reacción global pode ser endotérmica ou exotérmica en función do resultado do balance enerxético. Dise que unha reacción química é exotérmica cando a enerxía que se precisa para romper os enlaces é menor que a que se desprende na formación de novos enlaces. Dise que unha reacción química é endotérmica cando se precisa máis enerxía para romper os enlaces da que se desprende na formación dos novos enlaces (Burns, 2011). Non obstante, Eilks et al. (2007) observaron que os estudantes (12-13 anos) describen todas as reaccións químicas como exotérmicas pese a haber sido tratados formalmente na aula ditos conceptos. Outros autores como De Vos e Verdonk (1986) concluíron que os estudantes (15-16 anos) describían a combustión dunha candeia como un proceso endotérmico en base ao feito de que se precisa dunha chama para acendela.

Por outra banda, numerosos traballos (e. g. Abraham et al., 1992; BouJaoude, 1991; Çalik & Ayas, 2005; Chang et al., 2010; Holgersson & Löfgren, 2004; Johnson, 2002; Lowe, 1997; Prieto et al., 1992; Watson et al., 1997) centraron o seu interese en coñecer as concepcións e modelos alternativos que posúen os estudantes arredor do fenómeno de combustión. Os resultados obtidos nos diferentes estudos suxiren que as interpretacións dos estudantes acerca da combustión están condicionadas polo contexto, de maneira que en función da natureza do material combustible o alumnado activa un modelo explicativo ou outro (BouJaoude, 1991). Atendendo ao marco conceptual proposto por Andersson (1990), tanto a combustión dunha candeia como a combustión do alcohol son descritos en termos dunha modificación de substancias. O alumnado tende a interpretar a combustión do alcohol como unha vaporización (e. g. BouJaoude, 1991; Prieto et al., 1992), mentres que a combustión dunha candeia se interpreta en termos dunha fusión da cera (e. g. Abraham et al., 1992; BouJaoude, 1991; Çalik & Ayas, 2005; Holgersson & Löfgren, 2004; Prieto et al., 1992). Estes modelos alternativos ao modelo de reacción química da ciencia escolar semellan ser fundamente resistentes ao cambio, estando presentes tanto en escolares de seis anos como en alumnado universitario. A interpretación da combustión dunha candeia en termos dunha fusión da cera pode emerxer das dificultades que

teñen manifestado estudantes de diferentes idades para identificar o material combustible nunha candea. Numerosos autores (e. g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Johnson, 2002) atoparon que, con independencia da idade dos participantes, o alumnado pensa que nunha candea soamente arde a mecha.

Queda claro, como sinalan Driver, Guesne e Tiberghien (1989) que a comprensión da ciencia que posúen os estudantes está dominada polo directamente perceptible, de modo que os seus modelos e ideas alternativas están baseadas no uso de regras de inferencia causal aplicadas aos datos recollidos mediante un proceso de carácter sensorial.

2.3.6.5 Estratexias de ensino

Algúns autores como Kypraios et al. (2014) sosteñen que as concepcións alternativas que posúe o alumnado no domino conceptual da materia e as súas transformacións proceden das dificultades dos estudantes para interpretar os cambios que ocorren a nivel macroscópico en termos de partículas. Como xa se comentou anteriormente, os estudantes adoitan ter unha visión continua da materia ou ben unha visión discreta na que se asignan propiedades macroscópicas ás partículas. Por exemplo, tenden a mencionar que durante os cambios no estado de agregación da materia ou durante os cambios de temperatura, as partículas cambian de tamaño (Frändberg et al., 2013; Özmen, 2011), e teñen dificultades para asumir a existencia de baleiro entre as partículas, sentindo a necesidade de incluír a presenza de aire ou de outras substancias (Sopandi et al., 2017).

Co gallo de mellorar a comprensión do alumnado de cara a natureza corpuscular da materia, nos últimos anos foron publicados numerosos traballos nos que se avalía a eficacia de determinados recursos e estratexias (e. g. Acher et al., 2007; Adadan et al., 2009; Ardac & Akaygun, 2005; Coştu, 2008; Kolomuc et al., 2012; Özmen, 2011).

Algúns autores como Coştu (2008) e Coştu et al. (2010) empregaron a estratexia PDEODE (Predicir-Discutir-Explicar-Observar-Discutir-Explicar), unha variante da tradicional estratexia

POE (Predicir-Observar-Explicar) de White e Gunstone (1992), para avaliar a súa efectividade de cara a mellorar a comprensión dos estudantes acerca dos fenómenos de condensación e evaporación, respectivamente. Esta estratexia fai fincapé no papel que xoga a discusión na posible interpretación dos fenómenos, incorporando dúas etapas (D: Discusión) nas que se busca que o alumnado comparta, contraste e analice criticamente as ideas do grupo. Os resultados de ambos estudos suxiren que a estratexia PDEODE facilita que as concepcións alternativas dos estudantes muden cara concepcións compatibles co coñecemento científico. Os autores atribúen o éxito desta estratexia á inclusión de accións verbais e non verbais nun contexto onde se promove a interacción entre o alumnado (Coştu, 2008; Coştu et al., 2010). A observación do fenómeno pode obrigar aos estudantes a tratar de conciliar as discrepancias existentes entre o que esperaban que ía suceder e o que verdadeiramente sucede, e de sentirse insatisfeitos co seu coñecemento previo, poden aceptar como plausibles outras explicacións ao fenómeno que foron compartidas a través da discusión en grupo (Coştu et al., 2010).

Outros autores investigaron a influencia de estratexias de ensino baseadas no ciclo de aprendizaxe 5E (e. g. Ceylan & Geban, 2009; Kolomuc et al., 2012). Este ciclo de aprendizaxe, baseado na corrente socioconstructivista da aprendizaxe, consiste nunha secuencia estruturada de cinco etapas: enganchar, explorar, explicar, elaborar e avaliar. Ceylan e Geban (2009) contrastaron os resultados obtidos nun grupo control, que baseaba o ensino en leccións maxistras, e un grupo experimental, no que se aplicou unha estratexia baseada no ciclo de aprendizaxe 5E. Na fase de enganche, os estudantes do grupo experimental responderon a un conxunto de preguntas relacionadas coa materia e as súas transformacións para facer explícitas as súas ideas alternativas. Na fase de exploración, os estudantes desenvolveron diferentes experimentos relacionados con cambios físicos como as disolucións ou os cambios no estado de agregación da materia. Na fase de explicación, o alumnado expresou as súas ideas sobre o observado e contrastaron estas ideas coa explicación científica dos fenómenos. Durante a fase de elaboración, os estudantes participaron en experiencias adicionais coa intención de ampliar ou

reelaborar as súas ideas e pór en práctica o aprendido. Na última fase, fíxose unha avaliación do nivel de comprensión adquirido polos estudantes e proporcionouse realimentación a aqueles estudantes que mantiveron concepcións alternativas arredor dos conceptos traballados. Despois da instrución, Ceylan e Geban (2009) observaron que a porcentaxe de estudantes con concepcións alternativas foi bastante menor no grupo experimental en comparación co grupo control. Por exemplo, no grupo experimental reducíase trala instrución a incidencia de concepcións alternativas que fan referencia a que a masa non se conserva durante as transformacións da materia ou a que as burbullas que se forman durante a ebulición da auga conteñen aire, osíxeno, calor ou hidróxeno (Ceylan & Geban, 2009).

Por outra parte, atopouse que a utilización de recursos visuais multimedia nos que se conxugan os tres niveis de representación da materia (simbólico, macroscópico e microscópico) ten un efecto positivo sobre as representacións dos estudantes a nivel molecular (Ardac & Akaygun, 2004). Ardac e Akaygun (2004) atoparon que arredor dun 30% dos participantes (14-15 anos) substituíron as súas representacións macroscópicas de fenómenos como a oxidación do ferro ou a evaporación de auga salgada por representacións baseadas no modelo atómico-molecular e no modelo cinético-corpúscular despois da instrución con recursos visuais. Asemade, se os recursos visuais son dinámicos en lugar de estáticos, obsérvase unha maior congruencia entre as explicacións verbais que os estudantes dan dos fenómenos e as representacións simbólica e/ou corpúscular que constrúen (Ardac & Akaygun, 2004).

As intervencións didácticas baseadas nas prácticas científicas de modelización e indagación tamén axudaron aos estudantes a construír modelos acerca da natureza da materia e as súas transformacións cada vez máis próximos ao modelo da ciencia escolar (e. g. Acher et al., 2007; Baek & Schwarz, 2015; Bamberger & Davis, 2013; Bridle & Yezierski, 2012; Geban & Gunel, 2012; Hokayem & Schwarz, 2014; Kenyon et al., 2008; Kingir et al., 2013; Oliva et al., 2015). Baek e Schwarz (2015) estudaron como inflúe a implementación dunha unidade didáctica dixital baseada na práctica científica de modelización sobre a comprensión de dous estudantes (10-11 anos)

arredor dos conceptos de evaporación e condensación. Estes autores observaron que ambos participantes describiron inicialmente a evaporación desde un esquema de representación macroscópico. Ao longo da unidade didáctica estes modelos foron evolucionando chegando a ofrecer explicacións sobre os fenómenos de condensación e evaporación nas que se intúe unha incipiente comprensión da natureza corpuscular da materia. Un dos estudantes fixo referencia explícita a moléculas de auga, mentres que o outro participante empregou termos máis xenéricos como partículas de auga ou de vapor (Baek & Schwarz, 2015).

Outros autores como Kenyon et al. (2008) obtiveron resultados semellantes ao explorar os beneficios de incorporar a práctica de modelización nunha secuencia didáctica acerca da evaporación e a condensación. Estes autores observaron que inicialmente os estudantes (10-11 anos) tenden a posuír a idea de que a auga desaparece no aire ou nas nubes durante a evaporación. Despois da secuencia didáctica durante a que os estudantes tiñan que construír, probar, revisar e avaliar os seus modelos, observouse que a maioría do alumnado entende que durante a evaporación as moléculas de auga pasan ao aire, e comprenden que no aire do ambiente existe auga en forma de vapor (Kenyon et al., 2008).

2.3.6.6 Limitacións da revisión sistemática

O extenso e progresivo aumento no número de publicacións nos diferentes campos de estudo motivou a necesidade de efectuar revisións da literatura que permitisen sintetizar os resultados máis relevantes nun determinado dominio. Ante esta situación, as revisións sistemáticas foron gañando popularidade entre os investigadores ao constituír un método que permite seleccionar e analizar criticamente os resultados de estudos relevantes nunha determinada área de coñecemento (Petticrew & Roberts, 2006). Non obstante, o feito de que as revisións sistemáticas conduzan a resultados de maior calidade, non quere dicir que non existan limitacións metodolóxicas inherentes a este tipo de estudos.

Pértega e Pita (2005) sinalan que a selección de estudos é unha das etapas da revisión sistemática que máis pode comprometer a

calidade dos resultados obtidos. Estes autores remarcán a importancia de definir con claridade os criterios de exclusión e inclusión para que estes sexan o máis obxectivos posible. O idioma no que estean publicados os estudos constitúe outro importante elemento que condiciona os resultados obtidos na revisión sistemática, xa que aqueles traballos publicados en linguas alleas ao(s) idioma(s) que manexan os autores tenden a ser ignorados (Evans et al., 2017; Pértega & Pita, 2005). Asemade, pode suceder que algunhas publicacións de interese de cara os obxectivos da revisión sistemática se atopen indexadas en bases de datos diferentes ás seleccionadas (Evans et al., 2017).

Na revisión sistemática que se presenta nesta tese unicamente foron tidos en conta aqueles estudos publicados en inglés, galego, castelán ou portugués que estivesen indexados nas bases de datos SCOPUS, *Web of Science*, Dialnet e ERIC. Xunto a estas limitacións, cómpre engadir que soamente se tiveron en conta aqueles estudos aos que se tivese acceso mediante os recursos bibliográficos da Universidade de Santiago de Compostela. Neste apartado faise mención a algúns traballos relevantes no eido da materia e as súas transformacións que non figuran entre os resultados da revisión sistemática (e. g. Andersson, 1990; Azcona, Furió, Intxausti & Álvarez, 2004; Bar & Travis, 1994; Castillejo, Prieto & Blanco, 2005; Domínguez et al., 1996; Driver, 1989b; Furió & Furió, 2000; Gómez, Benarroch & Marín, 2006; Krnel, Watson & Glažar, 1998; Méheut et al., 1985; Mortimer, 1998; Pfundt, 1981; Prieto, Blanco & Brero, 2002; Vázquez & García-Rodeja, 2005).

En relación coa estrutura da materia, ademais dos traballos xa mencionados durante a revisión sistemática, atópase o traballo doutros autores como Mortimer (1998) e Domínguez et al. (1996). A partir da análise do discurso durante unha secuencia didáctica sobre a natureza corpuscular da materia, Mortimer (1998) estableceu un perfil conceptual que describe como se desenvolve a comprensión do alumnado arredor do concepto de materia. Este autor identificou unha etapa inicial *sensitiva*, dominada pola percepción sensorial, que se caracteriza por unha apreciación continuista da materia. Na seguinte etapa, que Mortimer (1998) denominou como *atomismo*

substancialista, os estudantes aceptan a existencia de partículas e posúen unha concepción destas partículas como grans de materia que experimentan os mesmos cambios macroscópicos que as substancias das que forman parte. A última etapa, denominada *zona conceptual*, caracterízase pola aceptación da idea de átomo como unidade básica da materia.

Dous anos antes de que fose publicado o estudo de Mortimer (1998) dáse a coñecer o traballo de Domínguez et al. (1996). Para identificar as ideas alternativas do alumnado ao modelo cinético da materia, estes autores pediron aos participantes (13-22 anos) que constrúisen un mapa conceptual cunha lista pechada de palabras relacionadas coa natureza corpuscular da materia. A partir da análise das producións escritas dos participantes e coincidindo co resultado doutros traballos (e. g. Boz, 2006; Eilam, 2004; Kind, 2014; Merino & Sanmartí, 2008; Samon & Levy, 2017; Sopandi et al., 2017), estes autores atoparon que o alumnado: (1) atribúe comportamento macroscópico ás partículas; (2) rexeita a idea de que entre as partículas non existe nada, unicamente baleiro, e tenden a incorporar a presenza doutros sistemas materiais como o aire; e (3) posúe unha visión estática da materia no estado sólido ou pensa que as partículas deixan de moverse cando as substancias se arrefrían.

En relación aos cambios de estado, aparte dos traballos xa mencionados (e. g. . Abdullah et al., 2016; Bar & Galili, 1994; Coştu, 2008; Coştu et al., 2010; Osborne & Crosgrave, 1983; Othman et al., 2008; Papageorgiou & Johnson, 2005; Prain et al., 2009; Tytler et al., 2007) tamén atopamos outros estudos relacionados co fenómeno de condensación e evaporación. Por exemplo, autores como Bar e Travis (1991) estudaron a percepción de estudantes israelís de 5 a 15 anos arredor do ciclo da auga. Estes autores atoparon que os estudantes tenden a describir o fenómeno de evaporación de auga como unha desaparición da substancia, ou ben consideran que a auga pasou a ser absorbida polo chan. Bar e Travis (1991) suxiren que o desenvolvemento dunha comprensión axeitada arredor dos cambios de estado vai ligada á apropiación da idea de conservación da materia. Por outra parte, Tytler (2000) pediu a estudantes do primeiro (6-7 anos) e do sexto curso (11-12 anos) da educación primaria que

desenvolvesen e interpretasen un conxunto de actividades prácticas nas que se traballaban conceptos ligados aos cambios de estado. Coincidindo cos resultados de Bar e Travis (1991), este autor observou que os estudantes de menor idade eran os que con máis frecuencia construían explicacións baseadas en modelos nos que se obviaba o principio do conservación.

Polo que atinxe ás transformacións químicas na materia, mediante unha revisión dos traballos publicados con anterioridade á década dos 90 nos que se aborda a interpretación das reaccións químicas, Andersson (1990) clasificou a forma de pensar do alumnado en cinco modelos explicativos. O marco conceptual proposto por este autor inclúe os seguintes modelos sobre as transformacións químicas: desaparición de substancias, desprazamento, modificación, transmutación e interacción química. Desde un punto de vista macroscópico, Andersson (1990) describe o cambio químico como desprazamento cando se considera que as substancias aparecen ou desaparecen porque foron desprazadas desde ou cara outra localización. A reacción química concibida como unha modificación supón que as substancias se conservan, véndose alternadas unicamente as súas propiedades físicas. A reacción química entendida como unha transmutación supón transformacións nas que unhas substancias se transforman noutras diferentes sen conservarse a identidade dos elementos a nivel microscópico, ou ben transmutacións de materia en enerxía (Andersson, 1990). Queda claro que se ben o modelo de interacción química é o único que se presenta no contexto educativo, o alumnado emprega outros modelos alternativos ao modelo da ciencia da ciencia escolar que se basean nas características perceptibles dos fenómenos naturais (Vázquez & García-Rodeja, 2005).

No dominio conceptual relativo ao fenómeno de combustión, ademais dos traballos de BouJaoude (1991), Gabel et al. (2001) ou Prieto et al. (1992), atopamos outros estudos como o de Méheut et al. (1985). Estes autores suxiren que os modelos que o alumnado activa para interpretar este fenómeno difiren dependendo do material combustible. Méheut et al. (1985) observaron como os estudantes (11-12 anos) activaban un modelo de modificación para explicar a combustión de materiais como a cera ou os metais, dos que din que se

funden ou evaporan e, sen embargo, ao referirse a outros materiais como a madeira, o cartón ou o papel empregaban un modelo de transmutación ou desaparición ao sinalar que se queiman transformándose noutras substancias ou en nada. Furió e Furió (2000) obtiveron resultados semellantes ao pedir a 33 estudantes de Maxisterio que interpretasen a combustión dunha lámina de magnesio. Estes autores atoparon que as respostas do alumnado estaban condicionadas polos aspectos observables do fenómeno nos que depositaran a súa atención. De fixarse unicamente no sólido inicial (magnesio) e no sólido final (óxido de magnesio), os estudantes activaban un modelo de modificación ao incorporar nas súas explicacións a idea de que se tiña o mesmo magnesio que ao comezo habendo cambiando unicamente de cor e aspecto (Furió & Furió, 2000). En cambio, se a esta apreciación do cambio de aspecto do sólido se engadía a chama e a formación de fume, o alumnado describía a reacción química en termos de desprazamento ou transmutación.

En relación tamén co fenómeno de combustión, outros autores como Prieto et al. (2002) suxeriron empregar mapas de dominio para estudar como progresa a comprensión dos estudantes arredor destas reaccións. Ditos mapas de dominio incorporaban as dimensións que influen na progresión de aprendizaxe do concepto de combustión, entre as que figuraban o papel do osíxeno ou a conservación da masa. Seguindo a idea dos mapas de dominio, Castillejo et al. (2005) elaboraron para cada participante (13-18 anos) no seu estudo, un perfil conceptual integrado polos dous modelos para a interpretación do fenómeno de combustión que empregaban con máis frecuencia. Estes autores suxiren que a medida que aumenta a idade dos participantes e o nivel de instrución, son menos frecuentes os perfís conceptuais integrados polos modelos de modificación ou transmutación a favor doutros modelos máis próximos ao da ciencia escolar.



3 METODOLOXÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Neste capítulo abórdase a metodoloxía empregada nesta investigación, que se enmarca nos estudos cualitativos. Seleccionouse este tipo de metodoloxía dado que reúne as características precisas para dar resposta ao obxectivo central desta tese, isto é, analizar o desempeño das competencias de modelización e uso de probas por parte dos estudantes en fenómenos relacionados coa transformación da materia.

Este capítulo divídese en catro apartados. No primeiro descríbese o marco metodolóxico que guía esta tese, que abrangue as características da investigación cualitativa e as estratexias dispoñibles para outorgar validez aos estudos cualitativos. O segundo apartado xira arredor dos estudos de corte transversal e os estudos de casos. En terceiro lugar faise referencia aos cuestionarios, ás entrevistas, á observación e aos grupos de discusión como procedementos para a recollida de datos. En cuarto lugar abórdase a análise do discurso como ferramenta para a análise de datos, e no último apartado faise unha breve referencia ás consideracións éticas e legais a ter en conta naqueles estudos que involucran a persoas.

3.2 METODOLOXÍA CUALITATIVA

Durante os últimos anos produciuse un importante incremento no emprego de metodoloxías de investigación cualitativas no ámbito socioeducativo. De acordo con Denzin e Lincoln (1994), a investigación cualitativa implica unha aproximación interpretativa e naturalista ao seu obxectivo, a través da observación participativa dos investigadores, os cales estudan os fenómenos inmersos no seu escenario natural, intentando darlles sentido ou interpretalos segundo os significados que as persoas lles outorgan. Esta definición suxire que a investigación cualitativa posúe as seguintes características (Creswell, 2007):

- Os investigadores cualitativos interactúan cos suxeitos dun xeito natural e non intrusivo, observando o seu comportamento e as súas accións no propio contexto en que se desenvolve o problema ou o fenómeno de interese.
- A análise de datos tende a ser de tipo indutivo, xa que os investigadores cualitativos tenden a desenvolver conceptos a partir dos datos, en lugar de empregar os datos para avaliar modelos ou teorías previamente establecidas.
- Todo o proceso de investigación se centra en comprender os significados que os participantes outorgan ao problema ou fenómeno de interese.
- Os investigadores contemplan o fenómeno baixo unha visión holística coa intención de desenvolver unha imaxe complexa do problema baixo estudo, identificando as múltiples perspectivas e factores que poden influír.

Para Maxwell (1996) a investigación cualitativa pode ser empregada para cinco finalidades distintas: (1) comprender os significados que os suxeitos dan ás súas accións, vida e experiencias, e aos sucesos e situacións nos que participan; (2) comprender un contexto particular no que os participantes actúan e a influencia que ese contexto exerce sobre a súas accións; (3) identificar fenómenos e influencias non previstas, e xerar novas teorías fundamentadas neles; (4) comprender os procesos polos cales os sucesos e as accións teñen lugar; e (5) desenvolver explicacións causais válidas analizando como determinados sucesos inflúen sobre outros, comprendendo os procesos causais de forma local, contextual e situada. Esta tese enmárcase fundamentalmente na primeira das finalidades que Maxwell (1996) adscribe aos estudos cualitativos, pois o seu principal obxectivo consiste en comprender o modo en que os participantes interpretan distintos fenómenos nos que a materia se transforma.

3.2.1 Tipos de investigación cualitativa

Dentro da investigación cualitativa distínguese unha gran variedade de perspectivas teóricas. Esta riqueza evidencia a complexidade e o alcance cualitativo na abordaxe da investigación

socioeducativa (Sandín, 2003). Non obstante, Mason (1996) destaca que todas estas perspectivas posúen tres elementos comúns: (a) están fundamentadas nunha posición filosófica que é amplamente interpretativa no senso de que presta atención ás formas nas que o mundo social é interpretado, comprendido, experimentado e producido; (b) está baseada en métodos de xeración de datos flexibles e sensibles ao contexto social no que se producen; e (c) están sostidas por métodos de análise que abarcan a comprensión da complexidade, o detalle e o contexto.

Táboa 3.1. Clasificación das distintas tendencias en investigación cualitativa (elaboración propia, a partir de Creswell, 2007, e Sandín, 2003)

<i>Autores</i>	<i>Enfoque cualitativo</i>	<i>Disciplina/Campo</i>
Jacob (1987)	Psicoloxía ecolóxica Etnografía holística Antropoloxía cognitiva Etnografía da comunicación Interaccionismo simbólico	Educación
Strauss & Corbin (1990)	Teoría fundamentada Etnografía Fenomenoloxía Análise conversacional	Ciencias sociais
Denzin & Lincoln (1994)	Estudos de casos Etnografía Fenomenoloxía Etnometodoloxía Prácticas interpretativas Teoría fundamentada Biografía/Historias Investigación clínica	Ciencias sociais
Creswell (2007)	Investigación narrativa Fenomenoloxía Teoría fundamentada Etnografía Estudos de caso	Ciencias sociais

No ámbito educativo, Jacob (1987) foi un dos primeiros en categorizar a investigación cualitativa nun conxunto de tradicións tales como a psicoloxía ecolóxica, a etnografía holística, a antropoloxía cognitiva, a etnografía da comunicación e o interaccionismo simbólico. Nesta tese, a descrición da tipoloxía de estudos cualitativos centrarase na clasificación proposta por Creswell (2007), quen

establece cinco grandes enfoques na investigación cualitativa: (1) investigación narrativa, (2) fenomenoloxía, (3) teoría fundamentada, (4) etnografía, e (5) estudos de casos. A investigación narrativa está adquirindo cada vez máis relevancia no ámbito das Ciencias Sociais, e consiste nun proceso de estudo e comprensión das experiencias dos suxeitos a través da narración de historias ou da escritura narrativa (Meier & Stremmel, 2010).

A fenomenoloxía contempla o estudo dos fenómenos de interese desde a perspectiva dos suxeitos coa intención de comprender o modo en que os suxeitos experimentan e interpretan o mundo construído socialmente a través da interacción (Delgado & Gutiérrez, 2010). A teoría fundamentada fai referencia ao desenvolvemento dunha teoría derivada indutivamente do estudo do fenómeno de interese (Íñiguez, 1999). A recollida e a análise de datos efectúase sistematicamente permitindo tanto a xeración de novas teorías como a reformulación de teorías xa establecidas conforme estas se confrontan cos datos experimentais (Strauss & Corbin, 1994). Debido a que esta estratexia de investigación se desenvolve e se lexitima durante a recollida de datos, Strauss e Corbin (1994) refírense á teoría fundamentada como un método de análise comparativo constante. A etnografía constitúe unha estratexia de investigación social que deriva da antropoloxía cultural e persegue crear unha reconstrución tan vívida como sexa posible da cultura dunha determinada comunidade (Cohen, Manion & Morrison, 2000). Este gran interese por explorar a natureza dos fenómenos sociais implica que o investigador etnográfico se mergulle no contexto da comunidade para capturar os seus valores, formas de conducta, crenzas, motivacións ou formas de interacción social (Delgado & Gutiérrez, 2010). Os estudos de casos consisten en analizar o fenómeno obxecto de estudo no seu contexto real (Yin, 1994). O seu interese reside máis no proceso que no produto e no contexto máis que nunha variable específica. Constitúe a estratexia metodolóxica adoptada nesta investigación, e será descrita polo miúdo en sucesivos apartados deste capítulo.

3.2.2 Fiabilidade da investigación cualitativa

Neste apartado descríbense as estratexias que permiten asegurar a calidade do proceso de investigación cualitativa, e que constitúen unha garantía de validez e fiabilidade dos resultados obtidos. A fiabilidade nun estudo cualitativo esixe que calquera investigador que empregue os mesmos métodos que outro poida chegar a obter resultados similares (Goetz & Lecompte, 1988). Para Cohen et al. (2000), a validez é un requisito inherente a calquera investigación tanto cualitativa como cuantitativa, e fan unha distinción entre validez externa e interna. Estes autores falan de validez interna cando as explicacións ou conclusións acerca dun fenómeno ou tema de investigación particular se sustentan nos datos, isto é, os resultados derivados da investigación han de describir con fidelidade o fenómeno baixo estudo. Pola súa banda, a validez externa fai referencia ao grao en que os resultados obtidos poden ser xeneralizados a poboacións máis amplas ou a diferentes contextos espazo-temporais (Cohen et al., 2000).

A triangulación constitúe unha estratexia de validación para a investigación cualitativa ao mesmo tempo que permite unha comprensión máis profunda do tema de investigación (Denzin & Lincoln, 1994). Na investigación social, Flick (1998) define o termo “triangulación” como a aplicación e combinación de diferentes aproximacións metodolóxicas, contextos locais e temporais, e distintas perspectivas teóricas no estudo dun mesmo fenómeno. O uso de métodos complementarios, teorías, datos ou investigadores está destinado a compensar calquera desviación ou distorsión que puidera resultar da aplicación de métodos, teorías, fontes de datos ou investigadores individuais (Denzin, 1978). Para outorgar validez a unha investigación cualitativa por medio da triangulación, existen diferentes posibilidades (Aguilar & Osuna, 2015):

- a) *Triangulación de datos*. Refírese ao emprego de datos procedentes de diferentes estratexias e fontes de información. Deste xeito, a triangulación de datos pode ser de tres tipos: (a) temporal, cando os datos proceden de diferentes intervalos temporais; (b) espacial, cando a recollida de datos se efectúa

en diferentes lugares; e (c) persoal, cando participan diferentes mostras de suxeitos.

- b) *Triangulación de investigadores*. Baséase na consideración de varios observadores independentes para mitigar a influencia da subxectividade nas interpretacións. A interpretación de datos por parte de máis dun investigador permite expandir, corrixir ou comprobar as visións subxectivas dos intérpretes.
- c) *Triangulación teórica*. Significa unha aproximación aos datos baixo múltiples perspectivas e hipóteses, podendo ser incluso antagónicas, para ter unha interpretación máis completa e comprensiva do fenómeno baixo estudo.
- d) *Triangulación metodolóxica*. Consiste en aplicar e combinar diferentes métodos e instrumentos de recollida de información para reducir as limitacións e debilidades de cada un deles e contrastar os datos, identificando coincidencias e diverxencias. En adición aos datos verbais (entrevistas e grupos de discusión), os datos visuais están actualmente recibindo considerable atención na investigación cualitativa (Flick, 1998).

Nesta investigación recorreuse á triangulación de investigadores e á triangulación metodolóxica, ao combinar datos procedentes de diferentes instrumentos como gravacións e cuestionarios.

3.3. ESTRATEXIA METODOLÓXICA EMPREGADA NESTE ESTUDO

3.3.1 Estudo de casos múltiple

O interese central desta investigación consiste en describir e analizar as interpretacións dos estudantes acerca das transformacións na materia, e comprender en profundidade o proceso de construción de coñecemento científico neste dominio. Por elo, nesta investigación adóptase un enfoque metodolóxico de tipo cualitativo, e en particular, enmárcase dentro dos estudos de casos múltiples.

O estudo de casos constitúe unha estratexia metodolóxica que se caracteriza por tratar de interpretar un ou varios fenómenos de interese nun contexto específico. Un estudo de casos é, segundo a definición de Yin (1994) “unha investigación empírica sobre un fenómeno

contemporáneo dentro do seu contexto real, especialmente cando os límites entre o fenómeno e o seu contexto non son claramente evidentes” (p. 13). Os contextos son únicos e dinámicos, e os estudos de casos permiten dar conta da complexa interacción dinámica que se produce entre as situacións que se desenvolven, as relacións humanas que se establecen e outros factores que conflúen no caso único (Cohen et al., 2000).

Por outra banda, os estudos de casos permiten establecer relacións causa-efecto. Entre as fortalezas dos estudos de casos atópase o observar os efectos no seu contexto real, recoñecendo que o contexto é un poderoso factor determinante tanto das causas como dos efectos (Cohen et al., 2000). Esta estratexia metodolóxica permite capturar características únicas que do contrario poderían pasar desapercibidos en datos a gran escala. De acordo con Neiman e Quaranta (2006), os estudos de casos tenden a focalizarse nun número limitado de feitos ou situacións de xeito que estas poidan ser abordadas coa profundidade que demande a súa comprensión holística e contextual, de aí que o aceno se sitúe no afondamento e no coñecemento do caso e non nas xeneralizacións de resultados.

No eido educativo, os estudos de casos caracterízanse porque abordan de maneira intensiva unha unidade de análise que segundo Stake (1994) pode consistir nun único estudante, un profesor, unha clase, unha escola ou un programa curricular. Non obstante, Stake (1994) engade que todas estas unidades de análise han de contar coa especificidade e a delimitación necesaria para que poidan ser consideradas como un caso. Neste sentido, Stake (1994) entende un caso como un sistema perfectamente acoutado que pode ser tanto simple como complexo. Cada unha destas unidades de análise, ben sexa un estudante, unha clase, un centro educativo ou unha comunidade, é observada por parte do investigador coa finalidade de analizar en profundidade os múltiples factores que afectan ao fenómeno baixo estudo. Poden distinguirse dúas modalidades de observación en función do nivel de implicación do investigador (Cohen et al., 2000). A observación participante fai referencia á observación do contexto desde a participación do propio investigador (Íñiguez, 1999). Pola contra, na observación non-participante os

investigadores mantéñense nun segundo plano rexistrando as observacións, pero sen chegar a intervir nas actividades que se desenvolven (Cohen et al., 2000).

Por outra banda, o estudo de casos non constitúe unha metodoloxía uniforme, senón que se adapta a cada realidade e adquire diferentes modalidades segundo o contexto e a finalidade da investigación (Álvarez & San Fabián, 2012). Atendendo á dispoñibilidade dunha teoría previa máis elaborada por parte do investigador, os estudos de casos poden ser exploratorios, explicativos ou descritivos (Yin, 1994). O estudo de casos exploratorio pódese considerar como un estudo piloto, dado que o seu principal propósito é definir hipóteses ou preguntas de investigación para posteriores traballos (Cohen et al., 2000). O estudo de casos explicativo busca probar unha teoría, mentres que o estudo de casos descritivo, como o seu propio nome indica, proporciona unha descrición narrativa do fenómeno de interese (Cohen et al., 2000). Outros autores (e. g. Murillo, 2013) consideran os estudos de casos exploratorios como unha subcategoría dentro dos estudos de casos descritivos que perseguen establecer hipóteses para subseguintes investigacións.

Atendendo á finalidade do estudo de casos, este pode ser intrínseco, instrumental ou colectivo (Stake, 1994). No estudo de casos intrínseco preténdese acadar a maior comprensión posible dun caso concreto (Stake, 1994). Este tipo de estudo de casos non se desenvolve porque o caso baixo análise represente a outros casos ou porque ilustre un problema particular, senón porque o caso en si mesmo ten un interese intrínseco. Mediante o estudo de casos instrumental perséguese confirmar unha teoría ou probar algún tipo de hipótese, mentres que no estudo de casos colectivo se investiga un fenómeno a partir do estudo intensivo dun ou varios casos relacionados co mesmo (Stake, 1994). Á súa vez, os deseños poden ser de un caso simple ou de múltiples casos, segundo se empregue unha ou varias unidades de análise. Nos estudos de casos múltiples empréganse varios casos únicos para estudar a realidade que se desexa explorar (López, 2013). Considérase que este deseño é máis robusto ao permitir contrastar os resultados que se obteñen en cada caso que se está analizando (López, 2013).

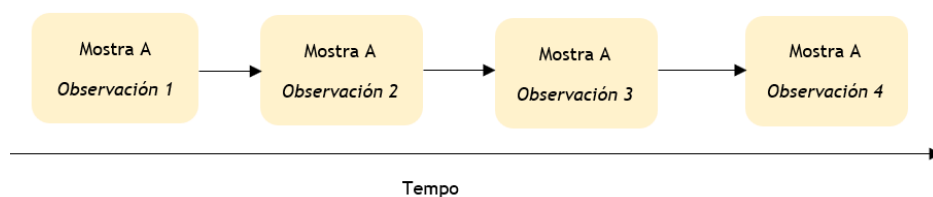
Pese ás súas bondades, os estudos de casos tamén posúen limitacións, a maioría delas inherentes a calquera estratexia metodolóxica de corte cualitativo. Entre as debilidades dos estudos de casos cómpre mencionar a imposibilidade de xeneralizar os resultados obtidos na investigación a outras realidades. Fronte á xeneralización estatística que persegue a investigación cuantitativa, os estudos de casos persegue a xeneralización analítica, é dicir, os resultados obtidos poden empregarse como patróns cos que comparar os resultados doutros estudos (Álvarez & San Fabián, 2012). Esta investigación non pretende xeneralizar resultados e conclusións a outros estudos, senón tratar de coñecer como interpretan os estudantes as transformacións na materia e establecer comparacións con outros estudos de natureza similar. A coincidencia dos resultados descritos neste traballo cos xa descritos na literatura axuda a darlles un certo carácter predictivo que permite anticiparnos aos modelos que poden activar os estudantes e prestar un mellor apoio no que á evolución dos seus modelos mentais se refire.

3.3.2 Estudos transversais

A investigación cualitativa pode referirse a un momento específico ou pode estenderse a unha sucesión de momentos temporais. Neste último caso, distinguimos entre estudos lonxitudinais e transversais (ver Figura 3.1). Os estudos lonxitudinais teñen como finalidade describir unha mesma realidade repetidamente en momentos temporais sucesivos para comprender o efecto que o paso do tempo exerce sobre o seu comportamento (Martínez-González, 2007). Dentro dos estudos lonxitudinais, Cohen et al. (2000) distinguen entre estudos de cohorte e estudos de panel. Nos estudos de cohorte realízase un seguimento dunha poboación específica durante un período de tempo determinado, pero en cada unha das etapas nas que se efectúa a toma de datos prodúcese unha rotación de mostra. Isto implica que non todos os participantes son considerados en cada unha das etapas da investigación. Pola contra, nos estudos de panel realízase un seguimento de cada un dos individuos da poboación durante todo o período que abrangue o estudo (Cohen et al., 2000).

Pola súa banda, os estudos transversais implican efectuar medicións de diferentes grupos ou individuos durante un momento determinado (Martínez-González, 2007). Noutras palabras, a investigación de corte transversal compara diferentes grupos ($G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$) observados (O_1) nun único momento, mentres que a investigación de corte lonxitudinal fai un seguimento dun mesmo grupo (G_1) en varios momentos ($O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$).

Estudo lonxitudinal



Estudo transversal



Figura 3.1. Tipos de estudos de desenvolvemento (elaboración propia, a partir de Cohen et al., 2000)

Os estudos lonxitudinais constitúen un enfoque metodolóxico máis efectivo que os estudos transversais cando o interese da investigación reside en establecer relacións de tipo causal ou facer un seguimento dos cambios observados ao longo do tempo (Cohen et al., 2000). Nos estudos de corte transversal están involucrados distintos suxeitos que posúen diferentes características persoais, sociais e culturais, de maneira que os datos poden non ser comparables. Non obstante, os estudos lonxitudinais enfróntanse ao problema de ser pouco prácticos, ademais de requirir dunha financiación considerable, xa que poden implicar longos períodos de tempo. Por outra banda, existe o risco de mortalidade da mostra, é dicir, durante os estudos a longo prazo existe unha maior probabilidade de que os suxeitos abandonen o estudo, sendo posible que os participantes que

permanecen no mesmo non sexan tan representativos da poboación de interese como o era a mostra orixinal (Cohen et al., 2000).

Dada a inviabilidade temporal que implica facer un seguimento dun mesmo grupo de estudantes desde a primeira infancia ata o fin da escolarización obrigatoria, a estratexia metodolóxica empregada nesta tese enmárcase nos estudos transversais. O obxectivo central da investigación é describir a comprensión que varios grupos de estudantes pertencentes a diferentes niveis educativos (Educación Infantil, Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria) posúen acerca de fenómenos nos que a materia se transforma.

3.4 PARTICIPANTES E RECOLLIDA DE DATOS

Nesta investigación a recollida de datos efectuouse ao longo de tres cursos académicos correspondentes ao período 2015-2017. Dado que se trata dun estudo transversal, os participantes son alumnas e alumnos que cursan estudos desde a Educación Infantil ata a Educación Secundaria Obrigatoria. Así, entre os participantes desta investigación atópase alumnado de tres niveis educativos diferentes: último curso do segundo ciclo da Educación Infantil (5 a 6 anos), que se corresponde co curso previo ao inicio da escolarización obrigatoria en España; sexto curso da Educación Primaria (11 a 12 anos); e cuarto curso da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) en España (15 a 16 anos). Entre os participantes tamén se atopan estudantes suecos do noveno grao, último curso da escolarización obrigatoria en Suecia e equivalente ao último curso da escolarización obrigatoria no sistema educativo español. Neste punto cómpre mencionar que, malia que as mostras de estudo son accidentais no sentido de que están conformadas por aqueles estudantes aos que se tivo acceso, esta diversidade nos grupos seleccionados pertencentes a diferentes etapas educativas atende á necesidade de dar resposta a un dos obxectivos de investigación desta tese. A través do Obxectivo 3 (O3) desta tese perséguese comparar as explicacións e os modelos que activan os participantes das etapas pre-obrigatoria (Educación Infantil) e obrigatorias (Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria) do sistema educativo español ao interpretar cambios químicos cotiáns

para coñecer como progresan estas ideas e modelos ao longo da educación formal.

Por outra banda, en relación aos procedementos e instrumentos empregados para a recollida de datos, nesta investigación recorreuse á observación, aos cuestionarios de preguntas abertas, aos grupos de discusión e á formulación de preguntas por parte da investigadora a medida que os participantes ían desenvolvendo as tarefas propostas. A continuación recóllese unha breve descrición xeral de cada unha das estratexias cualitativas de obtención de datos empíricos citadas anteriormente. Será nos Capítulos 4 e 5 desta tese cando se describan polo miúdo as características de cada grupo de participantes, e se especifiquen as estratexias de obtención de datos empregadas para cada caso.

3.4.1 Observación

A observación é unha técnica de obtención de datos amplamente utilizada nos estudos antropolóxicos e sociolóxicos. Marshall e Rossman (1989) entenden a observación como “a descrición sistemática de eventos, comportamentos e artefactos no escenario social elixido para ser estudado” (p. 79).

Pódense distinguir diferentes tipos de observación en función do grao en que o investigador se involucre a si mesmo no fenómeno a observar. A miúdo establécese a distinción entre observación participante e non-participante (Cohen et al., 2000). Na observación participante o investigador intervéen activamente no fenómeno que observa, mentres que na observación non-participante o investigador actúa como un espectador do que sucede limitándose a rexistrar aqueles aspectos de interese de cara a cumprir cos fins do estudo. Junker (1960) propuxo unha clasificación alternativa e máis detallada das posturas que pode adoptar o observador. Deste xeito fálase de “observador completo” cando os participantes non son conscientes de que están a ser observados. A postura de “observador como participante” dáse cando o investigador se integra na situación de interese coa intención de realizar unha mellor observación e producir un entendemento máis completo das actividades grupais, pero non é considerado un membro do grupo. Fálase de “participante como

observador” cando o investigador establece interaccións coa situación observada, e incluso pode participar como un membro máis nas actividades que desenvolve o grupo observado. Por último, a postura de “participante completo” constitúe unha especie de investigación encuberta e dáse cando o investigador se convirte nun membro do grupo a estudar e oculta aos demais membros do grupo o seu rol de investigador (Kawulich, 2005).

Nesta tese adoptouse principalmente a postura de “observador como participante”, se ben cos participantes de Educación Infantil se recorreu ao rol de “participante como observador” ante a conveniencia de ser a investigadora quen executase as experiencias polo risco que puidesen entrañar para o alumnado de curta idade. Calquera das dúas actividades que se realizaron, consistentes en observar a descomposición térmica do azucre e a combustión dunha candeia ao tapala cun recipiente, supoñían manipular fogo co conseguinte risco de queimaduras. Co alumnado de Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria, a investigadora e autora desta tese estivo presente na aula durante o desenvolvemento da intervención, pero a súa única función foi a de esclarecer aquelas dúbidas que puidesen xurdir ao alumnado con relación aos aspectos procedimentais das experiencias, así como fomentar a interacción na aula a través da formulación de preguntas retadoras que permitisen aos estudantes reflexionar acerca das súas interpretacións. Co alumnado da Educación Infantil, foi a investigadora quen manipulou todo o material necesario para desenvolver as actividades ao tempo que estableceu un diálogo cos participantes durante o cal ía facendo preguntas aos nenos e as nenas coa intención de que expresaran as súas ideas e observacións, seguindo unha estratexia semellante á desenvolvementa noutros traballos (Calo, García-Rodeja & Sesto, 2021).

Por outra parte, para rexistrar as observacións empregáronse dous instrumentos, as gravacións en audio e vídeo das sesións e as notas de campo da investigadora. A videogravación foi necesaria para identificar de maneira inequívoca a cada participante durante a intervención, captar as accións e os xestos dos suxeitos, e coñecer en profundidade as relacións sociais que se estableceron entre os integrantes de cada grupo.

3.4.2 Cuestionarios

Un cuestionario é un instrumento estandarizado amplamente utilizado na investigación social para a obtención de datos. Está formado por un conxunto de preguntas que se aplican a unha mostra de suxeitos nunha orde determinada para recoller información estruturada acerca da mesma, sendo sometidas posteriormente as respostas dos participantes a un tratamento cuantitativo e agregado co fin de describir a poboación baixo estudo ou contrastar algunhas relacións entre variables de interese (Meneses, 2016).

Fundamentalmente, distínguense dous tipos de preguntas segundo as opcións de resposta que teña o enquisado. Dise que as preguntas son pechadas cando constan de categorías ou opcións de resposta delimitadas previamente, de xeito que os participantes deben acoutar as súas respostas ás posibilidades que o mesmo cuestionario ofrece. En cambio, as preguntas abertas non delimitan previamente as alternativas de resposta (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado & Baptista-Lucio, 1998). As preguntas pechadas contan coa vantaxe de que son máis fáciles de codificar e analizar, ao tempo que requiren dun menor esforzo por parte dos enquisados, dado que estes non teñen que escribir ou verbalizar pensamentos, senón unicamente seleccionar a opción que mellor represente a súa resposta. O principal inconveniente das preguntas pechadas reside en que as categorías propostas poden non representar con exactitude o que os suxeitos queren expresar, producíndose unha perda de información que pode ser relevante de cara a investigación. Pola súa parte, as preguntas abertas proporcionan unha información moito máis ampla e son particularmente útiles cando se descoñecen as posibles respostas dos participantes ou cando se desexa afondar no tema baixo estudo (Hernández-Sampieri et al., 1998).

Por outra banda, independentemente do tipo de preguntas que se empreguen nos cuestionarios, hai unha serie de características a ter en conta no momento da súa formulación. Todas as preguntas han de estar escritas nunha linguaxe clara e facilmente comprensible para os suxeitos enquisados, debendo evitarse a inclusión de termos confusos ou que poidan dar lugar a ambigüidades. Tamén resulta aconsellable

que as preguntas sexan o máis breves posible para evitar distraccións por parte dos participantes (Hernández-Sampieri et al., 1998).

A recollida de datos nesta investigación efectuouse mediante cuestionarios de preguntas abertas deseñados a partir das experiencias prácticas propostas seguindo unha estratexia didáctica tipo POE (Predicir-Observar-Explicar). Segundo White e Gunstone (1992), esta estratexia permite medir a capacidade do alumnado de aplicar coñecemento a través dunha secuencia de tres etapas. En primeiro lugar, os estudantes han de emitir predicións xustificadas acerca do resultado dun determinado fenómeno. Deste xeito, todo o alumnado se ve comprometido a adoptar unha posición decidindo que coñecemento é máis adecuado aplicar. Logo, os estudantes han de describir o que viron rexistrando as súas observacións particulares do acontecido. De acordo con White e Gunstone (1992), hai ocasións nas que diferentes estudantes perciben aspectos distintos nun mesmo fenómeno, de maneira que se as observacións non se anotan no momento en que se efectúan, existe o risco de que algúns estudantes muden as súas observacións como resultado de escoitar o que terceiras persoas manifestan haber visto. Na última etapa da secuencia, o alumnado debe conciliar calquera discrepancia entre a súa predición e as súas observacións.

3.4.3 Entrevistas

Kvale (2011) entende a entrevista como un intercambio entre dúas ou máis persoas sobre un tema de interese mutuo que vai máis alá do intercambio espontáneo de ideas, converténdose nun acercamento baseado no interrogatorio e a escoita co fin de producir coñecemento. Na investigación cualitativa, a entrevista pode ser empregada como unha fonte de datos primaria ou ben pode ser utilizada en conxunción con outras técnicas de obtención de datos co fin de afondar nas motivacións e as razóns dos entrevistados para responder da maneira en que o fan, ou para contrastar resultados inesperados permitindo validar outras técnicas (Cohen et al., 2000).

Por outra parte, distínguese unha ampla variedade de tipos de entrevista segundo a estrutura que adopten, o propósito co que se desenvolva o intercambio comunicativo ou os supostos

epistemolóxicos nos que se basean. Atendendo ao primeiro destes aspectos, as entrevistas pódense clasificar en estruturadas, semiestruturadas ou non estruturadas. Nas entrevistas estruturadas a persoa que exerce a figura de entrevistador formula a cada participante unha serie de preguntas preestablecidas cun conxunto limitado de categorías de resposta (Fontana & Frey, 1994). Ao aplicarse de maneira ríxida a todos os participantes no estudo, conta coa vantaxe da sistematización a cal facilita a posterior clasificación e análise das respostas. Por contrapartida, trátase un deseño pouco flexible que carece da posibilidade de adaptación a cada un dos suxeitos que se entrevista (Díaz-Bravo, Torruco-García, Martínez-Hernández & Varela-Ruiz, 2013). As entrevistas semiestruturadas presentan un maior grao de flexibilidade que as entrevistas estruturadas. Parten de preguntas planificadas con anterioridade, pero que poden ser axustadas aos entrevistados, permitindo aclarar termos ou identificar ambigüidades (Díaz-Bravo et al., 2013). Pola súa banda, as entrevistas non estruturadas proporcionan unha maior amplitude de recursos en comparación con outros tipos de entrevista de natureza cualitativa. Permiten coñecer en profundidade a realidade baixo estudo sen impoñer unha categorización previa que poida limitar o campo da investigación (Fontana & Frey, 1994).

As entrevistas constitúen unha técnica de recollida de información moi valiosa, pero hai certos aspectos a ter en conta neste intercambio comunicativo. Nas entrevistas, como en calquera outra interacción comunicativa, a información que se transmite é sometida a interpretación en dúas ocasións, e cada unha destas interpretacións ou “traducións” da información pode ser inconsistente (Johnson & Gott, 1996). Noutras palabras, o entrevistado, que neste caso particular recae na figura do estudante, pode interpretar de xeito inadecuado as preguntas do entrevistador, un papel que neste caso particular corresponde ao investigador. De xeito análogo, o investigador pode atribuír ás respostas dos estudantes un significado diferente do que os entrevistados pretenden transmitir (ver Figura 3.2).

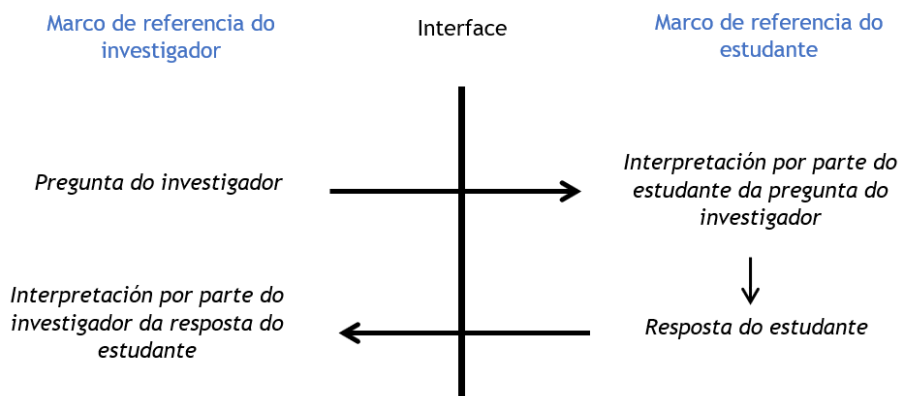


Figura 3.2. Intercambio comunicativo durante a entrevista (elaboración propia, a partir de Johnson e Gott, 1996)

Existen varias posibilidades para que a entrevista se desenvolva nun contexto o máis neutral posible. Johnson e Gott (1996) recomentan evitar preguntas ambiguas que dean lugar a distorsións nas respostas dos entrevistados, e que na interpretación das respostas o investigador teña en conta o marco de referencia dos entrevistados en lugar de outorgar significado ás respostas dos participantes desde o seu propio marco de referencia. Por exemplo, a palabra “queimar” ou “arder” pode ter diferente significado segundo se interprete desde unha linguaxe cotiá ou desde unha linguaxe científica. A triangulación constitúe outro mecanismo para evitar interpretacións inconsistentes. Johnson e Gott (1996) recomentan empregar varias técnicas de recollida de datos para estudar un mesmo fenómeno.

3.4.4 Grupos de discusión

Gil-Flores (1992) entende o grupo de discusión como unha técnica de recollida de datos de natureza cualitativa que ten por finalidade “a produción controlada dun discurso por parte dun grupo de suxeitos que son reunidos, durante un espazo de tempo limitado, a fin de debater sobre un determinado tópico proposto polo investigador” (p. 201).

Recoméndase que os grupos de discusión teñan un tamaño comprendido entre seis e dez individuos (Gil-Flores, 1992). Un tamaño excesivo dificultaría a participación de cada suxeito na discusión, mentres que nos grupos demasiado pequenos existe un maior risco de que non se chegue a producir un diálogo o suficientemente activo. Hai que ter en conta que o número de canles de comunicación nun grupo aumenta co número de integrantes (Gil-Flores, 1992). Por outra parte, os grupos de discusión pódense clasificar en homoxéneos ou heteroxéneos atendendo á súa composición (Flick, 1998). Dise que un grupo de discusión é homoxéneo cando os membros son comparables en relación á pregunta de investigación e posúen antecedentes similares. Pola contra, dise que o grupo de discusión é heteroxéneo cando as características dos integrantes que son relevantes de cara a dar resposta á pregunta de investigación son diferentes. Neste sentido non existe consenso acerca da conveniencia de empregar un tipo de grupo ou outro. Algúns autores suxiren empregar grupos de discusión homoxéneos para evitar, por exemplo, que as discusións grupais sexan dominadas polos estudantes máis locuaces ou por aqueles que teñan un maior rendemento académico. Outros autores, en cambio, consideran que recorrer a grupos estritamente homoxéneos non produciría discurso ou produciría un discurso totalmente redundante (Gil-Flores, 1992).

Por outra parte, os grupos de discusión constitúen unha ferramenta especialmente axeitada para reconstruír os modelos mentais dos estudantes acerca dun determinado fenómeno, xa que aquelas ideas que non son socialmente compartidas por parte dos membros do grupo adoitan ser cuestionadas en base ao coñecemento e as probas dispoñibles (Flick, 1998). Nesta investigación os participantes foron distribuídos en grupo para avaliar en que medida a discusión na aula e a interacción entre pares facilita a construción e reconstrución de modelos mentais alternativos acerca das transformacións na materia.

3.5 ANÁLISE DO DISCURSO

Esta tese enmárcase nos estudos de casos múltiples dado que o interese reside en realizar unha investigación transversal que abrangue grupos de estudantes de diferentes cursos e sistemas educativos, co fin de comprender como se desenvolve a comprensión do alumnado arredor da materia e as súas transformacións en función da idade dos participantes e o currículo vixente. En particular, esta tese componse de catro estudos de casos: alumnado do último curso do segundo ciclo da Educación Infantil (EC1), alumnado do sexto curso da Educación Primaria (EC2), alumnado do cuarto curso da Educación Obligatoria en España (EC3) e alumnado do noveno grao da escolarización obrigatoria en Suecia (EC4). Nos Capítulos 4 e 5 desta tese afondarase no contexto e nas características particulares de cada grupo de participantes.

Dentro de cada estudo de casos e en aras de facilitar a recollida de datos, os estudantes foron agrupados para o desenvolvemento das actividades, sendo nomeado cada grupo cunha letra maiúscula comezando pola primeira letra do abecedario (ver Táboa 3.2). Foron omitidas as letras J e K por non pertencer ao alfabeto galego, lingua na que está escrita esta tese. Para garantir o anonimato do alumnado, outorgouse a cada participante un pseudónimo que comeza pola letra do grupo de traballo ao que pertencen, manténdose unicamente o xénero.

Táboa 3.2. Participantes e grupo de traballo de cada estudo de casos

Estudos de casos	Alumnado participante	Grupos
EC1	14 estudantes do terceiro curso do segundo ciclo da Educación Infantil (5 a 6 anos)	A, B, C
EC2	12 estudantes do sexto curso da Educación Primaria (11 a 12 anos)	D, E, F
EC3	10 estudantes do cuarto curso da Educación Obligatoria en España (15 a 16 anos)	G, H, I
EC4	12 estudantes do noveno grao da escolarización obrigatoria en Suecia (15 a 16 anos)	L, M, N

O feito de que a maior parte dos datos desta tese proceden da interacción comunicativa que se estableceu entre os integrantes de cada grupo de traballo e entre os participantes e a investigadora, fai

que a análise do discurso se erixa como unha ferramenta fundamental para a análise de datos.

Nos últimos anos, produciuse un gradual interese acerca de como se desenvolven os significados a través da linguaxe e outros modos de comunicación non verbal na aula de ciencias (Scott, Mortimer & Aguiar, 2006). Segundo Lemke (1990) “faise ciencia” a través da linguaxe dado que esta nos permite observar, formular hipóteses, describir ou contrastar teorías alternativas. Deste esta perspectiva, a aprendizaxe das ciencias enténdese como un proceso eminentemente social e as aulas de ciencias son contempladas como comunidades científicas nas que se produce e se usa o coñecemento a través da enculturación dos estudantes no discurso científico (Driver et al., 1994).

Dado que a linguaxe pode contemplarse como un sistema de interpretación de significados con distintas implicacións para a aprendizaxe das ciencias, a análise do discurso converteuse nunha perspectiva teórica esencial para examinar a forma en que o coñecemento é socialmente construído e compartido nas aulas de ciencias ou noutros contextos educativos (Jiménez-Aleixandre & Díaz, 2003). A análise do discurso comprende tanto a análise das interaccións como das argumentacións que se establecen durante a discusión, permitindo coñecer como as ideas se constrúen e reconstrúen durante a interacción con outros (Sóñora, García-Rodeja & Brañas, 2001). Como sinala Van Dijk (2012), os modelos mentais dos suxeitos inflúen no seu discurso e, ao mesmo tempo, mediante o discurso establecen interaccións con outros suxeitos construíndo comunidades de aprendizaxe a través das cales os modelos mentais alternativos se poden reconstruír para aproximarse aos modelos da ciencia escolar. Neste sentido, non debemos esquecer que diferentes suxeitos poden recorrer a distintos modelos para describir ou explicar un mesmo fenómeno e que a discusión constitúe a ferramenta utilizada para a elección do modelo que mellor se axuste ao fenómeno.

Por outra parte, como o instrumento empregado para a recollida de datos foron as gravacións, antes de analizar as intervencións dos estudantes, as conversas foron transcritas intentando manter a esencia do discurso. Como sinalan Cohen et al. (2000), toda transcripción leva

aparellada unha perda inevitable de información debido a que a transcripción representa a tradución dun sistema (oral e interpersoal) a outro (escrito). Para que a perda de información sexa mínima tívose en conta que as transcricións han de ser fieis ao diálogo do que proceden, estando prohibidas as substitucións de termos por sinónimos ou a corrección de erros gramaticais (Carvalho, 2006). Para conseguir que a transcripción fose o máis fidedigna posible, tamén nos axudamos da gravación en vídeo para contrastar que participante estaba intervindo en cada momento e ter constancia tanto das súas accións como da linguaxe corporal que acompañaba ao diálogo. Ademais, tivéronse en conta as seguintes regras durante a realización das transcricións (Carvalho, 2006):

- 1) Dobre paréntese (()) para inserir comentarios do investigador.
- 2) Letras maiúsculas para entoación enfática.
- 3) Barra inclinada / para indicar truncamento de palabras. Por exemplo: “o pro/ ...o procedemento”.
- 4) Dobres puntos :: para indicar o prolongamento de vogal ou consonante.

Por outra banda, para transformar as gravacións das sesións de aula en datos útiles para a investigación hai que seleccionar o que Carvalho (2006) denomina “episodios de ensino”, é dicir, aqueles momentos da sesión estreitamente relacionados coa situación que queremos investigar. O episodio pode facer referencia á participación dos estudantes establecendo hipóteses durante a resolución dun problema, á secuencia de explicacións que os estudantes constrúen durante a interpretación dunha experiencia, etc. Esta definición concorda coa de Hogan, Nastasi e Pressley (1999), quen entenden por episodio unha ou máis unidades temáticas unidas por un propósito común. Nesta investigación consideráronse tres episodios dentro de cada sesión, que se corresponden coas tres etapas que compoñen a estratexia POE. Ademais, dentro de cada episodio establecéronse quendas de fala (Hogan et al., 1999), entendéndose por quenda de fala aquel fragmento de conversación que transcorre desde que un interlocutor comeza a falar ata que intervéñ outro dentro dunha secuencia de interaccións.

3.6 CONSIDERACIÓNS ÉTICAS

Cada unha das etapas que conforman o proceso de investigación en Ciencias Sociais, desde a planificación do estudo ata a comunicación de resultados, son fontes potenciais de conflitos éticos (Cohen et al., 2000). Por exemplo, o procedemento de recollida de datos adoptado pode causar ansiedade aos participantes ou os datos poden facer referencia a información persoal que os afectados non desexan que se faga pública.

De acordo con Lodico, Spaulding e Voegtler (2006) as consideracións éticas a ter en conta durante o desenvolvemento de investigación no eido educativo son fundamentalmente tres: (1) consentimento informado, (2) acceso aos participantes, e (3) confidencialidade e garantía de anonimato.

Por consentimento informado Diener e Crandall (1978) entenden aquel procedemento a través do cal os suxeitos elixen participar ou non na investigación despois de ser informados do procedemento. Esta definición encerra catro elementos: competencia, voluntarismo, información plena e consciencia (Cohen et al., 2000). A “competencia” fai referencia a que os suxeitos están en condicións e dispoñen da madurez necesaria para adoptar a decisión máis axeitada unha vez proporcionada información ao respecto. O “voluntarismo” implica que os suxeitos deciden libremente participar na investigación. A “consciencia” fai referencia a que os participantes son coñecedores da natureza da investigación, e están dispostos a asumir as dificultades ou riscos que emerxan durante dito proceso.

O acceso aos participantes fai referencia a solicitar por escrito un permiso aos responsables da organización ou administración na que se vai a desenvolver o estudo (Cohen et al., 2000). En investigación educativa, o acceso aos participantes require solicitar permiso aos directores dos centros educativos implicados. Por outra banda, a garantía do anonimato fai referencia a que, baixo ningún concepto, a identidade dos participantes pode ser revelada a través da información proporcionada por eles mesmos. Un suxeito considérase anónimo cando terceiras persoas non son quen de identificalo a través da información que se proporciona (Cohen et al., 2000). O principal medio para asegurar o anonimato dos participantes consiste en omitir

o seu nome real e calquera outro dato persoal que permita a súa identificación. Asemade, o compromiso de confidencialidade constitúe outro medio para protexer o dereito á privacidade dos participantes. Isto quere dicir que, aínda que os investigadores teñan coñecemento de quen proporcionou a información ou sexan capaces de identificar aos participantes a partir da información recollida, baixo ningún concepto deben facer estar conexión pública (Cohen et al., 2000).

Para dar cumprimento as consideracións éticas expostas anteriormente, a través dunha nota solicitouse permiso aos directores dos centros educativos na que se explicaba a natureza da investigación, e se aseguraba manter o anonimato do centro. Por outra banda, informouse a todos os participantes tanto do procedemento da investigación como do uso que se faría dos seus datos. Como os participantes eran menores de idade, adicionalmente solicitouse un permiso escrito aos pais, nais ou titores legais. Asemade, co fin de asegurar a confidencialidade da investigación e garantir o anonimato dos participantes, os nomes de cada un deles foron substituídos por nomes ficticios, que en ningún caso coinciden cos seus nomes reais.



II RESULTADOS





4 EXPLICACIÓNS DO ALUMNADO DE EDUCACIÓN INFANTIL E PRIMARIA ACERCA DE FENÓMENOS NOS QUE A MATERIA SE TRANSFORMA

*Algúns resultados deste capítulo xa foron publicados como Sesto ^a, V., & García-Rodeja ^b, I. (2021). How do five- to six-year-old children interpret a burning candle? *Education Sciences*, 11(5), 213.
<https://doi.org/10.3390/educsci11050213>. ISSN: 2227-7102.

^a, ^b Área de Didáctica das Ciencias Experimentais, Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultade de Ciencias da Educación (Campus Norte), Universidade de Santiago de Compostela, Avenida Xoán XXIII, s/n, 15782, Santiago de Compostela, A Coruña, España.

4.1 INTRODUCCIÓN

Neste capítulo preséntanse dous estudos de casos cuxo obxectivo foi coñecer os tipos de explicacións que varios grupos de nenas e nenos constrúen cando teñen a oportunidade de interpretar fenómenos nos que a materia se transforma. Ambos estudos de casos foron desenvoltos nun Centro Público Integrado (CPI) do interior de Galicia, participando nun caso alumnado de Educación Infantil e noutro, alumnado de Educación Primaria.

Nos seguintes apartados especificácase o obxectivo e as preguntas de investigación arredor das cales xira este capítulo, describíense en maior profundidade os participantes e o contexto de cada estudo de casos, preséntase a metodoloxía adoptada para a recollida e a análise de datos, e discútense os resultados obtidos.

4.2 MARCO TEÓRICO

Nesta sección preséntase a fundamentación teórica deste capítulo de maneira máis extensa que a discusión incluída no marco teórico xeral da tese.

4.2.1 A importancia de introducir actividades de ciencias nas primeira etapas educativas

A aprendizaxe científica nace da curiosidade por descubrir e comprender os fenómenos que acontecen ao noso arredor (Cabello, 2011). Baixo esta consideración, cada vez existe un consenso crecente acerca da conveniencia de iniciar a aprendizaxe das ciencias na educación infantil, pois desde idades temperás as nenas e os nenos manifestan unha curiosidade innata polo seu entorno e gozan buscando unha explicación ao que sucede ao seu arredor (Cañal, 2006). Esta curiosidade intrínseca acerca do entorno natural maniféstase a través da formulación de innumerables preguntas acerca dunha ampla variedade de fenómenos naturais que cobren as diferentes áreas da ciencia (Trundle, 2015).

Este entusiasmo por aprender e descubrir debe ser aproveitado para introducir as actividades de ciencias na primeira infancia, dado que isto aporta aos nenos varios beneficios entre os que se pode mencionar un importante desenvolvemento lingüístico e intelectual (French, 2004). Gelman e Brenneman (2004) sosteñen que unha exposición temperá aos contidos científicos contribúe ao desenvolvemento cognitivo das nenas e dos nenos ao dar oportunidades de planificar, predicir, facer inferencias e enfrontarse a conflitos cognitivos. Outros autores como Eshach e Fried (2005) engaden que, entre as principais contribucións da ciencias nos primeiros anos, se atopa a construción de ideas que faciliten a comprensión dos conceptos científicos a abordar en etapas educativas posteriores, o desenvolvemento de destrezas xerais relacionadas co deseño de investigacións, e a xeración de actitudes positivas cara a ciencia.

Para aproveitar todas estas potencialidades da educación científica na primeira infancia e que o ensino das ciencias resulte pertinente, os contidos que se tratan han de estar relacionados con feitos perceptibles

polos nenos, presentes na súa vida diaria e polos que sintan un certo entusiasmo (García-Carmona, Criado & Cañal, 2014a). Asemade, García-Carmona et al. (2014a) apuntan que as ciencias na educación infantil han de centrarse principalmente nas habilidades propias da labor científica ou na creación de hábitos e actitudes, en lugar de intentar abordar contidos disciplinares específicos.

Tal e como sinala o informe ENCIENDE, publicado pola Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE, 2011), para que os nenos e as nenas se sintan atraídos pola ciencia e a vexan como unha ferramenta que lles permite explicar todo aquilo do mundo natural que lles resulta asombroso, as aulas han de constituír lugares de construción de coñecemento. Para conseguir isto, Martí (2012) fai énfase na importancia de incorporar nas aulas estratexias metodolóxicas que permitan aos nenos participar en actividades de indagación a través das cales poidan adquirir destrezas propias do traballo científico. A aprendizaxe por indagación constitúe un dos enfoques máis apropiados para aprender ciencias ao promover entre outros procesos, a observación, a identificación e formulación de preguntas, o establecemento de hipóteses e a comprobación destas a través do deseño de experimentos (Cañal, García-Carmona & Cruz-Guzmán, 2016).

4.2.2 Tipos de explicacións durante a infancia e os modelos precursores

No ámbito da psicoloxía cognitiva está amplamente aceptada a idea de que os individuos desenvolven e utilizan representacións internas coa finalidade de explicar feitos e fenómenos do seu entorno natural (Concari, 2001; Jones et al., 2011). Estas representacións ou modelos son producidos grazas á capacidade que ten o ser humano de representar mentalmente a realidade (Martí, 2012).

O construto de modelo mental foi orixinalmente descrito polo psicólogo Craik (1943), quen sostiña que as persoas posúen na súa mente un modelo a pequena escala que simula o modo en que o mundo funciona. Décadas máis tarde, o psicólogo Johnson-Laird (1983) desenvolveu en maior extensión a idea de Craik (1943), definindo un modelo mental como un mecanismo de razoamento que

permite aos individuos comprender fenómenos e establecer inferencias. No eido do ensino das ciencias, Gilbert (2004) entende un modelo mental como unha representación privada e persoal desenvolta por un individuo coa intención de predicir, describir e explicar unha gran variedade de fenómenos naturais. Ademais da súa natureza xenerativa, os modelos mentais son representacións altamente dinámicas. De xeito continuado establécese unha relación dialóxica entre o modelo e o fenómeno a modelar de maneira que as novas evidencias obtidas da análise do fenómeno permiten refinar o modelo existente no referente aos seus elementos, operacións e relacións, ao tempo que permite definir as limitacións do mesmo (Martí, 2012).

Desde idades temperás os nenos e as nenas senten unha necesidade innata de desenvolver representacións mentais acerca de fenómenos e conceptos que lles permitan interpretar o mundo que os rodea (Canedo-Ibarra et al., 2012). Esta representacións mentais iniciais, froito da habilidade dos nenos para representar a realidade, poden ser incompatibles coas teorías e os modelos da ciencia, constituíndo verdadeiros obstáculos epistemolóxicos para subseguintes aprendizaxes (Kambouri-Danos, Ravanis, Jameau & Boilevin, 2019). Non obstante, estas representacións mentais poden evolucionar cara o que se coñece como modelos precursores. Ravanis (2017) entende os modelos precursores como estruturas cognitivas que se interpoñen entre as representacións orixinais dos nenos e os modelos da ciencia escolar e que son construídos en base a certos elementos clave presentes no modelo científico, de aí que permitan aos nenos xerar predicións e explicacións consistentes co coñecemento científico. Asemade, malia que o seu rango de aplicación é limitado e soamente permiten establecer relacións causais simples, constitúen a base para construcións cognitivas máis sofisticadas que na ausencia destes modelos precursores serían moi difíciles ou imposibles de construír (Canedo-Ibarra et al., 2012; Koliopoulos et al., 2004; Weil-Barais, 2001).

Baseándose no enfoque de modelos precursores, nos últimos anos foron publicados varios estudos nos que se aborda a construción destas representacións mentais en nenos de preescolar (e. g. Canedo-Ibarra et al., 2012; Delserieys, Jégou, Boilevin & Ravanis, 2018;

Kambouri-Danos et al., 2019; Koliopoulos et al., 2004; Lorenzo, Sesto & García-Rodeja, 2018; Ravanis, Koliopoulos & Hadzigeorgiou, 2004; Ravanis, Papandreou, Kampeza & Vellopoulou, 2013). Nunha investigación na que participaron nenos de 5 a 6 anos, Ravanis et al. (2013) atoparon que as actividades experimentais baseadas nunha estratexia de ensinanza tipo POE (Predicir-Observar-Explicar) facilitan a construción dun modelo precursor acerca da expansión e contracción térmica dos metais que permite aos nenos predicir e explicar diferentes fenómenos neste dominio conceptual. Nesta investigación pediuse aos cativos (5 a 6 anos) que emitisen predicións e explicasen por que unha esfera de metal que a temperatura ambiente logra atravesar un aro, cando se quenta non pasa. Estes autores atoparon que as diferencias entre os resultados obtidos ao quentar a esfera e as predicións iniciais dos participantes provocaron un conflito cognitivo aos nenos que permitiu construír xeneralizacións indutivas a partir da experiencia empírica e o diálogo con outros (Ravanis et al., 2013). Koliopoulos et al. (2004) tamén concluíron que os nenos de preescolar (5 a 6 anos) poden construír un modelo precursor sobre o fenómeno de flotación baseado nun concepto intuitivo de densidade. Pola súa parte, Ravanis et al. (2004) concluíron que o uso dunha estratexia de ensino sociocognitiva na que o profesorado actúa como facilitador da aprendizaxe favorece a construción dun modelo precursor que permite aos cativos (5 a 6 anos) explicar os efectos que a fricción entre superficies ten sobre o movemento dos corpos.

Por outra banda, a idea de modelo precursor está estreitamente relacionada coa construción de explicacións. Legare (2014) sinala que a caracterización das explicacións dos nenos e nenas acerca do mundo físico proporciona unha información crucial acerca dos mecanismos que activan para comprender o medio natural, adquirir novos coñecementos e desenvolver unha aprendizaxe causal. Segundo a teoría de Piaget sobre o desenvolvemento cognitivo, os nenos de preescolar recorren a explicacións non naturalistas nos seus relatos dos fenómenos naturais, posto que os límites entre o mundo real e o mental son difusos a idades temperás (Piaget, 1929). Así, os nenos de curta idade tenden a construír explicacións nas que se atribúe vida e intencións aos entes inanimados (animismo), nas que certos procesos

psicolóxicos como os soños ou os pensamentos teñen existencia real (realismo) ou nas que se supón que todo canto existe ao noso arredor foi creado polo ser humano cun propósito específico (artificialismo).

Sen embargo, estudos recentes suxiren que os nenos de preescolar tamén poden construír explicacións de diferentes fenómenos nas que se aprecia unha incipiente comprensión da causalidade física (Christidou & Hatzinikita, 2006; Peterson & French, 2008). Tal e como sinala Martí (2012), a causalidade é un elemento primitivo no desenvolvemento que emerxe axiña e inflúe na adquisición de coñecemento. O razoamento infantil tende a incluír nas súas explicacións a intervención de axentes sobrenaturais como a maxia, o que suxire que as nenas e os nenos son buscadores de causas, pois se aceptasen a non causalidade non se verían na obriga de apelar con tanta frecuencia a axentes sobrenaturais para explicar aqueles fenómenos para os cales non son quen de identificar as causas (Martí, 2012). Os resultados dun estudo realizado por Hickling e Wellman (2001) con nenos de preescolar sosteñen esta visión. Estes autores observaron que os participantes de menor idade (2 a 3 anos) tamén eran capaces de construír explicacións causais acerca de fenómenos que involucraban a seres humanos, animais ou obxectos materiais, constatándose unha maior incidencia deste tipo de explicacións conforme se incrementaba a idade dos participantes (Hickling & Wellman, 2001). Nun estudo realizado por Christidou (2005) con nenos de 5 a 6 anos atopouse que a maioría deles eran quen de construír explicacións causais simples nas que atribuían a ocorrencia de fenómenos como a flotación, o magnetismo ou a disolución de solutos en estado sólido a certas propiedades intrínsecas das substancias ou obxectos involucrados no proceso. Por exemplo, algúns nenos fixeron referencia a que os obxectos afunden debido ao seu peso ou ao tipo de material do que están feitos (Christidou, 2005). Nunha investigación posterior, Christidou e Hatzinikita (2006) concluíron que os nenos de 5 a 6 anos son quen de dar explicacións naturalistas sobre a nutrición das plantas nas que se incorpora a intervención dun axente externo que promove o cambio. Por exemplo, os participantes mencionaron que as plantas medran grazas a que o ser humano as rega. As explicacións de tipo naturalista son racionais e

considéranse o comezo da causalidade física (Berzonsky, 1971; Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006; Koliopoulos, Christidou, Symidala & Koutsiouba, 2009). Asemade, a construción de explicacións naturalistas constitúe un indicador de que os nenos posúen a capacidade de construír representacións mentais que poder ser consideradas como modelos precursores (Koliopoulos et al., 2009). Outros autores como Saçkes, Flevares e Trundle (2010) caracterizaron a comprensión dun grupo de nenos de preescolar (4 a 6 anos) sobre a formación da chuvia. Estes autores observaron que os nenos de maior idade eran quen de construír explicacións plausibles sobre o fenómeno, referíndose ao feito de que a auga se almacena en diferentes lugares, como as nubes ou o mar, e que a chuvia simplemente implica un cambio de localización.

4.2.3 Investigacións previas no eido da materia e as súas transformacións con alumnado de educación infantil e primaria

Nos últimos anos foise xestando un interese crecente acerca das concepcións dos nenos de curta idade sobre os fenómenos naturais. Así, desenvolvéronse varias investigacións nas que se exploraron as explicacións e as representacións mentais dos nenos de preescolar en diferentes dominios conceptuais como a formación da chuvia, a flotación, o crecemento das plantas, os fenómenos magnéticos, a expansión térmica dos metais ou a formación de sombras (e. g. Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006; Delserieys et al., 2018; Ravanis et al., 2013; Saçkes et al., 2010). Sen embargo, son poucos os traballos orientados a describir as explicacións e as representacións dos nenos de curta idade arredor da materia e as súas transformacións e a maior parte deles foron publicados recentemente (e. g. Cruz-Guzmán, García-Carmona & Criado, 2017; Demirbaş & Ertuğrul, 2014; Monteiro & Jiménez-Aleixandre, 2019; Samarapungavan et al., 2021; Sesto & García-Rodeja, 2021).

Con relación ás transformacións de tipo físico, Cruz-Guzmán et al. (2017) investigación o efecto dunha estratexia metodolóxica baseada na indagación sobre a aprendizaxe dos cambios de estado en nenas e nenos de preescolar (2 a 4 anos). Estes autores observaron unha evolución en destrezas xerais relacionadas coa formulación e

contraste de hipóteses mediante a experimentación. Asemade, atoparon que a maioría dos participantes eran quen de distinguir entre o estado sólido e o estado líquido, sendo capaces de entender que cando o xeo se quenta se converte en auga en estado líquido. Sen embargo, ningún participante chegou a comprender o proceso inverso (Cruz-Guzmán et al, 2017). Analogamente, os cativos tamén amosaron un maior entendemento do fenómeno de evaporación, resultando para eles complexo o fenómeno de condensación (Cruz-Guzmán et al., 2017). Este resultado concorda cos obtidos no traballo de Monteiro e Jiménez-Aleixandre (2019) no que se examinaron as explicacións dun grupo de cativos (5 a 6 anos) acerca de cambios de estado en contexto familiares. Estas autoras tamén atoparon que o fenómeno de evaporación foi recoñecido e interpretado polos nenos con maior facilidade que o fenómeno de condensación. Os participantes non identificaron a condensación como o proceso inverso, sendo descrito este fenómeno en termos de gotas que se pegan (Monteiro & Jiménez-Aleixandre, 2019).

Pola súa banda, Bar e Galili (1994) compararon as respostas de nenos de diferentes idades a preguntas sobre o secado da roupa ou a evaporación de auga dun recipiente. Estes autores concluíron que os nenos de menor idade (5 a 7 anos) tenden a interpretar a evaporación de auga como unha desaparición da substancia, mentres que a partir dos sete anos xorde a idea de que a auga é absorbida pola superficie do recipiente que a contén. Outros autores como Tytler e Peterson (2000) tamén exploraron as ideas dos nenos de cinco anos arredor do fenómeno de evaporación. A diferenza de Bar e Galili (1994), estes autores atoparon que a idea de que o líquido non desaparece senón que muda de posición (e. g. absorbido polas paredes do recipiente, formando parte das nubes...) é accesible aos nenos de menor idade, o que revela que o seu pensamento é máis complexo do esperado. Asemade, Tytler e Peterson (2000) concluíron que os nenos de preescolar non teñen un modelo mental precursor que lles permita explicar como pode existir a auga baixo unha aparencia non perceptible no aire.

A diferenza dos nenos e nenas de preescolar, as representacións do alumnado de primaria acerca da materia e a súas transformacións

están máis documentadas na literatura. En relación á estrutura da materia, Martí (2012) sinala que un elemento característico do razoamento durante a nenez fai referencia a unha visión continua e estática da materia. Neste sentido, nunha investigación con estudantes de 7 a 8 anos, Acher et al. (2007) atoparon que inicialmente os participantes manifestaban unha visión continua da materia condicionada pola aparencia física dos sistemas materiais. Non obstante, no momento en que os cativos recibiron información acerca da existencia de partículas microscópicas, a visión dos participantes evolucionou cara un modelo granular segundo o cal a materia está feita de pequenas pezas do propio sistema material (Acher et al., 2007). En relación tamén a estrutura da materia, Özmen (2011) concluíu que os nenos (12 a 13 anos) non entenden a existencia de baleiro entre as partículas que conforman a materia, incorporando entre elas outros sistemas materiais como o aire. Con respecto á conservación da materia, Hesse e Anderson (1992) atoparon que os nenos de 11 anos consideraban que a materia non se conserva naquelas reaccións nas que se liberan gases.

En relación aos cambios físicos, Ahtee e Varjola (1998) concluíron que unha concepción alternativa xeneralizada entre os nenos (12 a 14 anos) é considerar as disolucións mediante solvatación ou dispersión e os cambios de estado como reaccións químicas. Convén aclarar que durante un cambio físico a substancia segue a ser a mesma, mentres que durante un cambio químico se produce unha ruptura e formación de novos enlaces entre os átomos, de maneira que as substancias iniciais se transforman noutras substancias diferentes. Prain et al. (2009) atoparon que os nenos de 11 anos describían a condensación do vapor de auga como unha transmutación de frío en auga líquida ou como unha fuga de auga.

Con relación aos sistemas materiais e a súa clasificación, Martínez-Losada, García-Barros e Rivadulla (2009) atoparon que os participantes do seu estudo, entre os que figuraban estudantes do sexto curso da Educación Primaria en España (11 a 12 anos), tiñan dificultades para distinguir entre substancias puras e mesturas, amosando unha idea moi reducionista de mestura ao recoñecer como tales aqueles sistemas materiais nos que de maneira visual se podían

diferenciar os seus compoñentes (mesturas heteroxéneas) e excluíndo as de aspecto homoxéneo. Estes autores observaron que os estudantes non empregaban de forma espontánea os esquemas de interpretación microscópicos para caracterizar as mesturas, podendo responder esta concepción reduccionista das mesturas a unha mera apreciación visual das características dos sistemas materiais.

En canto aos cambios químicos, Eilks et al. (2007) concluíron que os nenos (12 a 13 anos) non conciben a existencia de reaccións químicas nas que unha única substancia inicial forma outras substancias. Con relación ao proceso de combustión, atopouse que as explicacións dos estudantes sobre este fenómeno dependen da natureza do material combustible. Méheut et al. (1985) concluíron que os nenos (11 a 12 anos) describen a combustión da cera ou dun metal como unha fusión, e a combustión do alcohol como unha evaporación da substancia. Outro autor, BouJaoude (1991), tamén atopou que os estudantes (13 a 14 anos) explican a combustión do alcohol como unha evaporación e a combustión da madeira como o cambio a cinzas. Algúns autores como Prieto et al. (1992) afirman que esta inconsistencia nas interpretacións dos estudantes se debe ao feito de que están comezando a reconstruír os seus modelos mentais en busca dun maior poder explicativo.

4.3 OBXECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Neste capítulo darase resposta ao Obxectivo 1 (O1) desta tese, o cal fai referencia a *describir os tipos de explicacións que os participantes de Educación Infantil e Primaria constrúen para interpretar fenómenos nos que a materia se transforma*. Este obxectivo xeral desagregase en dúas preguntas de investigación:

RQ1. Que tipos de explicación usan os participantes de Educación Infantil e Primaria cando interpretan fenómenos nos que a materia se transforma?

RQ2. En que medida as explicacións dos participantes se poden considerar manifestacións da existencia dun modelo precursor acerca das transformacións na materia?

4.4 ESTUDO DE CASOS 1 (EC1): ALUMNADO DE EDUCACIÓN INFANTIL

Neste apartado da tese abórdase o Estudo de Casos 1 (EC1) desenvolto no 2º ciclo de Educación Infantil dun Centro Público Integrado (CPI) do interior de Galicia. En primeiro lugar descríbese o contexto e o perfil dos participantes. En segundo lugar, preséntanse as experiencias propostas e especificase a metodoloxía empregada para a recollida e a posterior análise de datos. En último lugar, discútnense os resultados e expóñense as conclusións máis relevantes.

4.4.1 Participantes e contexto

Neste apartado descríbese o contexto e o perfil dos participantes do Estudo de Casos 1 (EC1) desenvolto nun Centro Público Integrado (CPI) situado nun entorno rural do interior da Comunidade Autónoma de Galicia. Neste centro impártense as ensinanzas de Educación Infantil, Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria (ESO).

O municipio no que se encadra o centro educativo conta cunha poboación de preto de 5000 habitantes. As principais actividades económicas da contorna vincúlanse ao sector servizos, seguidas da agricultura e a gandería. Nos últimos anos, incrementouse a proporción de alumnado matriculado no centro debido aos fluxos migratorios, entre os que se inclúen tanto traslados da poboación doutros países como traslados da zona urbana á rural.

Neste estudo de casos participaron un total de catorce estudantes, cinco nenas e nove nenos, que no momento da intervención se atopaban cursando o último curso do 2º ciclo de Educación Infantil (5-6 anos), que se corresponde co curso previo ao inicio da escolarización obrigatoria en España. A recollida de datos neste grupo de estudantes desenvolveuse ao longo do mes de abril do ano 2016, unha vez obtidos os permisos correspondentes tanto da directora do centro como dos pais, nais ou titores legais do alumnado. Por outra parte, co fin de garantir o anonimato dos participantes, os seus nomes foron substituídos por pseudónimos nos que unicamente se conservou o xénero. Os pseudónimos adoptados recóllense na Táboa 4.1 e como se pode observar, cada un deles comeza pola letra dos grupos de

traballo nos que foron distribuídos para a realización das experiencias. Describírase con máis detalle esta distribución en grupos na sección relativa á recollida de datos.

Táboa 4.1. Participantes no Estudo de Casos 1 (EC1) desenvolto no 2º ciclo de Educación Infantil

Grupo A	Grupo B	Grupo C
Alicia	Breixo	Carlos
Adrián	Bruno	César
Alberto	Brais	Cibrán
Alexandra	Berta	Celso
Amelia	Branca	

En virtude do *Decreto 330/2009, do 4 de xuño, polo que se establece o currículo da educación infantil na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2009), os contidos desta etapa educativa organízanse en tres grandes áreas de coñecemento (ver Táboa 4.2).

Táboa 4.2. Áreas de coñecemento na Educación Infantil e bloques de contidos asociados a cada área no 2º ciclo desta etapa educativa (elaboración propia, a partir de, Xunta de Galicia, 2009)

Áreas de coñecemento na Educación Infantil		
Linguaxes: Comunicación e representación	Coñecemento de si mesmo e autonomía persoal	Coñecemento do contorno
Bloques de contidos no 2º ciclo (3 a 6 anos)		
(1) Linguaxe verbal.	(1) O corpo e propia imaxe.	(1) Medio físico: Elementos relacións e medida.
(2) Linguaxe artística: Plástica-musical-corporal.	(2) Xogo e movemento.	(2) Achegamento á natureza.
(3) Linguaxe audiovisual	(3) A actividade cotiá.	(3) Cultura e vida en sociedade.
	(4) O coidado persoal e a saúde.	

Na área de coñecemento do contorno, que é a que atinxe a esta tese, distínguense pola súa banda tres bloques de contidos. No bloque dedicado ao medio físico (Bloque 1) contémpnanse aqueles contidos que buscan desenvolver o pensamento lóxico-matemático dos nenos para que estes poidan comprender e interpretar o mundo que os rodea. Dentro do bloque de vida e sociedade (Bloque 3) faise énfase na dimensión sociocultural do medio, sinalándose a necesidade de aprender a convivir e de construír unha identidade individual e social.

No bloque dedicado á natureza (Bloque 2) faise referencia ao achegamento e comprensión do medio, do mundo animal e do mundo vexetal. En concreto, para o segundo ciclo de Educación Infantil, etapa que estaban a cursar os participantes deste estudo de casos, establécese que os nenos e nenas han de formular e contrastar hipóteses, así como construír explicacións acerca das causas e consecuencias de fenómenos do medio natural. Tamén se establece que os nenos e as nenas han de distinguir as formas nas que se atopa a auga na natureza. Estes contidos foron traballados nas experiencias propostas ao alumnado de Infantil durante a intervención, as cales serán descritas en posteriores apartados deste capítulo. En liñas xerais, estas experiencias requirían que os participantes observasen, interpretasen e efectuasen predicións acerca de fenómenos nos que a materia se transforma. Asemade, requiríase que relacionasen un dos produtos liberados durante o cambio químico con vapor de auga.

En relación á bagaxe deste grupo de nenos de Educación Infantil, cómpre destacar que, semanas antes da intervención, realizaron na aula varias actividades de indagación relacionadas cos cambios de estado no marco dun proxecto de ciencias sobre o ciclo da auga. A aprendizaxe baseada na indagación é un enfoque frecuentemente utilizado no ensino das ciencias que ten como principal cometido que o alumnado se involucre en tarefas propias da actividade científica como a formulación de preguntas, a recolección de datos en virtude do coñecemento dispoñible ou a obtención de conclusións, mentres que o profesorado adopta o papel de facilitador da aprendizaxe (Harlen, 2011). Unha das actividades experimentais realizadas por este grupo de nenos antes da intervención consistiu en encher un recipiente con auga para ir medindo a diminución do nivel de líquido ao longo dos días (ver Figura 4.1). Isto permitiu á mestra introducir a idea de evaporación. Outro dos experimentos consistiu en colocar un espello sobre o vapor de auga dun fervedoiro eléctrico coa intención de que os nenos puideran observar como o vapor de auga se transformaba en auga líquida. Isto permitiu á mestra introducir a idea de condensación. Ningún dos nenos participara con anterioridade á intervención nalgunha actividade relacionada coa combustión ou a descomposición térmica.



Figura 4.1. Actividades realizadas polos participantes do Estudo de Casos 1 (EC1) antes da intervención na aula. Fonte: Grupo de traballo Torque

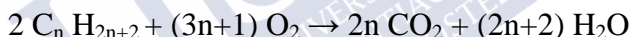
Por outra banda, cómpre mencionar que o nivel de escritura dos nenos era limitado. A maior parte deles aínda estaba aprendendo a escribir, de maneira que incluían palabras nas que omitían letras ou nas que non existía correspondencia entre fonema-grafema. A súa principal canle de expresión eran os debuxos.

4.4.2 Descrición das experiencias propostas

Os temas seleccionados foron a combustión dunha candeia no interior dun recipiente de vidro e a descomposición térmica do azucre. Ambas forman parte do Proxecto AcAb Química (García-Rodeja, Lorenzo, Domínguez & Díaz, 1987) desenvolto polo Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais da Universidade de Santiago de Compostela. Trátase de actividades abertas, no senso de que son adecuadas para unha ampla gama de niveis educativos en función do modo en que estas se presentan, e que se poden encadrar dentro dunha metodoloxía activa, sendo o propio estudante o que constrúe o coñecemento e participa na activación e uso de modelos co gallo de interpretar fenómenos cotiáns. Estas dúas experiencias, xunto co cumprimentado dun cuestionario con preguntas relacionadas coa descomposición dun animal, xa foron empregadas para analizar como os estudantes xordos interpretaban fenómenos vinculados coa transformación da materia (Vázquez & García-Rodeja, 2005). De acordo con Vázquez e García-Rodeja (2005), os modelos empregados

polos estudantes xordos, se ben son similares aos descritos en estudos previos con alumnado oínte, posúen un menor grado de sofisticación e están afastados da idea de reacción química.

Polo que respecta á primeira experiencia, desde o punto de vista científico a combustión dunha candeia é o resultado dunha serie de acontecementos en cadea. Ao acender a candeia, a mecha, que pode ser de algodón ou de calquera outro material absorbente, comeza a arder e a calor desprendida pola chama funde a parte superior da cera. A cera líquida desprázase cara arriba a través da mecha por medio da acción capilar. Logo, o combustible licuado vaporízase e neste estado físico entra en contacto co osíxeno do aire producíndose unha reacción de combustión. Polo tanto, a única función da mecha é a de iniciar a reacción, sendo a cera de parafina o material combustible da candeia. A cera de parafina é un sólido de cor branca ou lixeiramente amarela e está constituída por unha mestura de hidrocarburos de elevado peso molecular, principalmente alcanos saturados (C_nH_{2n+2}). Tendo en conta a fórmula molecular da cera de parafina, a ecuación química que representa o proceso é:



En relación á segunda experiencia, desde o punto de vista científico a sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$), coñecida como azucre común ou azucre de mesa, é un disacárido formado por glicosa e frutosa. Cando a sacarosa se quenta, invértese nos dous monosacáridos que a integran e fórmase un líquido claro. O proceso de inversión consiste na disgregación por hidrólise da sacarosa en glicosa e frutosa. Posteriormente, conforme se incrementa a temperatura, as moléculas de glicosa e frutosa comezan a deshidratarse e, xunto coa sacarosa remanente, sofren reaccións de oxidación formándose novos compostos responsables do olor característico que se desprende durante o proceso. Os compostos formados, entre os que se atopan alcois, aldehidos, ésteres, furanos e pironas, mestúranse coa sacarosa en estado líquido formándose un xarope de cor escuro. De continuar o aporte de calor, os enlaces entre os átomos das moléculas comezan a

romperse, quedando como produto final da reacción carbono contaminado con outros produtos da descomposición.

Elixíronse estas experiencias por dúas razóns fundamentais. Por unha parte, o ensino da ciencias nas primeiras etapas ha de basearse en feitos perceptibles polos nenos e que estean presentes na súa vida diaria (García-Carmona et al., 2014a). Por outra parte, algúns autores como Löfgren e Helldén (2009) sosteñen que unha das principais finalidades da educación científica na educación obrigatoria ha de ser empregar o coñecemento relativo ao dominio da materia e as súas transformacións para dar sentido aos fenómenos da vida diaria.

Malia que as experiencias propostas poden semellar demasiado sofisticadas para nenos de curta idade, a finalidade das mesmas foi coñecer en que medida os nenos interpretan estes cambios como unha transformación da substancia ou substancias iniciais noutras diferentes, e se son quen de identificar certos produtos da reacción como o vapor de auga.

4.4.3 Toma de datos

Para facilitar a recollida de datos, considerouse conveniente distribuír o alumnado en grupos de catro ou cinco membros. Para poder identificar inequivocamente a cada grupo máis aos seus integrantes, cada grupo foi nomeado cunha letra e ao alumnado que o conformaba foille outorgado un pseudónimo que comezaba por esa mesma letra. Ademais, de cara a configuración dos grupos intentouse na medida do posible que estes foses heteroxéneos en canto a xénero, actitude e caracteres, coa intención de que a discusión fose o máis frutífera posible. En total resultaron tres grupos nomeados coas letras A, B e C (ver Táboa 4.1).

Ao longo da intervención seguiuuse unha estratexia de ensino tipo POE (Predicir-Observar-Explicar) (White & Gunstone, 1992). Así, empregouse como instrumento para a recollida de datos un cuestionario no que os nenos tiñan que dar resposta ás preguntas de:

- Que penso que pasara? Por que?
- Que pasou? Por que?

Asemade, efectuáronse gravacións en audio e vídeo das sesións. Cómpre sinalar ao respecto que o principal foco da análise foi o discurso. A riqueza dos datos neste estudo de casos reside na discusión do grupo guiada pola investigadora e non nas respostas ao cuestionario, dado que, como xa se mencionou, a capacidade dos nenos para xerar producións escritas era limitada.

O protocolo de actuación seguido descríbese a continuación. Cada día ao longo dunha semana, nunha sesión de aproximadamente unha hora de duración, eran realizadas as experiencias cun grupo de nenos e nenas, mentres que o resto do alumnado estaba coa mestra noutro recuncho da aula realizando as actividades programadas para ese día de clase e que nada tiñan que ver coa intervención. A primeira experiencia que se realizou foi a combustión dunha candea no interior dun recipiente invertido. A investigadora presentou o fenómeno aos nenos explicando que unha candea acendida se ía cubrir cun vaso e pediu aos nenos que fixeran unha predición sobre o que pensaban que ía suceder. Tamén se pediu aos nenos que acompañasen a súa predición dunha xustificación. Neste punto cómpre aclarar que a figura da investigadora se corresponde coa autora desta tese. Unha vez que todos os nenos tiñan escrito ou debuxado no cuestionario o que pensaban que sucedería, a investigadora executou o experimento diante dos nenos para que estes observasen os cambios que se estaban a producir. Durante a execución do mesmo, tapouse a candea con recipientes de distintos tamaños para que os nenos observasen que conforme se aumentaba o tamaño do mesmo, a candea tardaba máis tempo en apagarse. Asemade, a investigadora guiou ao alumnado durante a observación, para que se fixasen naqueles aspectos máis relevantes e que eles non consideraban. Finalmente, a investigadora pediu aos nenos que anotasen as súas observacións no cuestionario, así como unha explicación para o sucedido. Como xa se comentou en reiteradas ocasións, debido á curta idade dos participantes, as respostas que incluían nos cuestionarios foron esencialmente debuxos ou frases inintelixibles. Por este motivo, co fin de afondar no que os nenos pretendían transmitir coas súas producións escritas e facer explícitas as súas ideas, a investigadora íalles facendo preguntas mentres realizaban a experiencia. A segunda actividade desenvolta foi

a descomposición térmica do azucre e o protocolo de actuación seguido foi semellante ao descrito anteriormente.

4.4.4 Ferramenta de análise de datos

En primeiro lugar, procedeuse á transcripción literal das gravacións para intentar manter, na medida do posible, a esencia do discurso. Para tal fin, a transcripción das conversas entre pares, así como entre os participantes e a investigadora, realizouse conxugando a escoita do audio coa visualización dos vídeos.

Posteriormente, dividíronse as transcripcións de cada un dos eventos en episodios. Algúns autores (e.g. Hogan et al., 1999; Van Dijk, 1981) entenden por episodio unha secuencia coherente de intervencións dun discurso definida en termos dalgunha característica común, xa sexa en termos de idénticos participantes, momento temporal, localización, evento ou acción. Tendo en conta que para a recollida de datos se adoptou unha estratexia tipo POE (White & Gunstone, 1992), considerouse conveniente dividir o discurso en tres episodios segundo a acción desenvolta, isto é, considerando a fase de predición, a de observación e a de explicación. A continuación, establecéronse quendas de fala nos episodios. Hogan et al. (1999) entenden por quenda de fala cada unha transición que acontecen entre un interlocutor e o seguinte dentro dunha serie de interaccións comunicativas.

Neste estudo de casos as unidades de análise foron aquelas quendas de fala nas que se están a elaborar explicacións. Pese a que a construción de explicacións se erixe como unha práctica discursiva fundamental na aprendizaxe das ciencias, existe unha falta de consenso acerca do significado do “termo” explicación (Rodrigues & Pereira, 2018). A definición de explicación adoptada nesta tese concorda coa de Christidou (2005), quen entende esta como un fragmento coherente dunha intervención que dá conta do comportamento dun obxecto ou unha substancia, ou do mecanismo que subxace ao fenómeno de interese. Posto que as actividades propostas demandaban que os cativos, en pequenos grupos de traballo, interpretasen fenómenos nos que a materia se transforma, durante a

discusión foron construídas diversas explicacións. De acordo con Oliveira et al. (2015), mediante unha explicación os suxeitos poden:

- Definir ou aclarar o significado dalgún termo ou expresión.
- Describir un razoamento.
- Establecer relacións de tipo causa-efecto entre as entidades ou ideas relativas ao fenómeno que están tentando modelar.
- Describir as características do modelo (ou partes do modelo) que activan para interpretar o fenómeno.

Unha vez identificadas as explicacións dos participantes, estas foron analizadas tendo en conta os marcos de clasificación desenvolto noutros estudos previos que tiñan por obxectivo categorizar as explicacións que nenas e nenos de curta idade constrúan acerca de fenómenos naturais pertencentes a outros dominios conceptuais como a nutrición das plantas, o aire ou a flotación (Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006; Lorenzo et al., 2018; Saçkes et al., 2010). De acordo con traballo previos, as explicacións dos nenos de curta idade poden dividirse en explicacións científicas, explicacións sintéticas, explicacións naturalistas e explicacións non-naturalistas. As explicacións científicas son aquelas que incorporan ideas consistentes co estado de coñecemento actual (Saçkes et al., 2010). As explicacións sintéticas son aquelas que conteñen elementos coherentes co coñecemento científico, pero tamén incorporan algunhas concepcións alternativas (Saçkes et al., 2010). As explicacións naturalistas son racionais e obxectivas, e revelan unha incipiente comprensión da causalidade física (Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006). Poden contemplar a intervención dun axente externo que participa no fenómeno ocasionando o cambio (axentivas), ou ben poden ser as propiedades ou accións das substancias ou obxectos implicados as que desencadean o cambio por si mesmas (non-axentivas). As explicacións non-naturalistas poden ser teleolóxicas, intencionais ou metafísicas (Christidou, 2005). Nas explicacións teleolóxicas asúmese que os fenómenos naturais teñen lugar a fin de cumprir algún propósito específico. As explicacións intencionais, características do pensamento animista, atribúen carácter intelixente e consciente aos entes inanimados, e as explicacións

metafísicas, propias dun pensamento de tipo máxico, atribúen a ocorrencia de fenómenos naturais a poderes sobrenaturais. Para facilitar a comprensión da ferramenta de análise utilizada, na Táboa 4.3 ilústrase cada tipo de explicación con exemplos descritos na literatura e ordenadas en virtude do nivel de coñecemento desexable desde a que entraña un menor nivel de sofisticación (explicación de tipo non naturalista) ata a explicación máis sofisticada (explicación científica). Non se inclúe ningún exemplo relacionado coas experiencias propostas, debido á falta de estudos no eido da materia e as súas transformacións na educación durante a primeira infancia. No seguinte apartado deste capítulo dedicado á presentación de resultados e discusión, cada unha das categorías de análise será ilustrada en base aos datos obtidos nesta investigación.

Táboa 4.3. Tipos de explicacións dos nenos acerca dos fenómenos naturais descritas en estudos previos (elaboración propia, a partir de, Christidou, 2005, Christidou & Hatzinikita, 2006, Saçkes et al., 2010)

Tipos de explicación		Exemplos
Científica		« A auga de chuvía evapórase e convértese nunha nube cando condensa» (Saçkes et al., 2010).
Sintética		« As nubes están feitas de neve e traen auga. A auga de chuvía mestúrase coa auga do mar, e a neve cae, e volve ás nubes» (Saçkes et al., 2010).
Naturalista	Axentiva	« Por que non podes ver o azucre? Foise baixo a auga e cando removemos rompeuse» (Christidou, 2005).
	Non-axentiva	« Por que afunde a bola? Porque é pesada. Está feita de ferro» (Christidou, 2005).
	Teleolóxica	« Como é que chove? Chove porque as plantas necesitan ser regadas» (Christidou, 2005).
Non-naturalista	Intencional	« Por que flota ((a cortiza))? Porque é moi coidadoso. Mantén os seus ollos abertos» (Christidou, 2005).
	Metafísica	« E como é que o clip se apega ao imán? Porque ((o imán)) fai un pouco de maxia» (Christidou & Hatzinikita, 2006).

A análise das explicacións permite avaliar a habilidade dos nenos para construír un modelo precursor no eido das transformacións na materia. Neste sentido, a construción de explicacións naturalistas constitúe un indicador de que os nenos posúen a capacidade de construír representacións mentais que poder ser consideradas como

modelos precursores (Koliopoulos et al., 2009). Nesta tese considérase que un modelo precursor sobre os cambios químicos ha de incluír como coñecemento de referencia a idea de que unha(s) substancia(s) se transforma(n) noutra(s) diferente(s).

4.4.5 Resultados e discusión

Neste apartado preséntase a análise do discurso para cada un dos grupos do Estudo de Casos 1 (EC1). De maneira similar a outros traballos (Costa, 2015), as interaccións preséntanse en cadros con tres columnas, nas que se inclúen as quendas de fala, o diálogo transcrito e a análise das intervencións co fin de describir a intencionalidade ou o significado de cada intervención.

4.4.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo A (EC1)

A análise do discurso divídese en tres episodios segundo as intervencións se correspondan coa etapa de predición, observación ou explicación da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos. O primeiro episodio, no que se solicita aos nenos elaborar unha predición en base aos seus coñecementos ou experiencias previas, comprende as quendas de fala 1 a 71. O segundo episodio, no que se solicita aos nenos observar o fenómeno e avaliar se a predición establecida é coherente coas observacións realizadas, comprende as quendas de fala 72 a 195. O terceiro episodio, que ten por obxectivo construír unha explicación do fenómeno observado, abrangue da quenda de fala 196 á 245. Dependendo da relación entre a predición e a observación, o participante deberá confirmar a predición ou modificala. Durante este proceso de raciocinio pódense: (a) desconsiderar as probas a favor da predición inicial; (b) analizar os datos de forma parcial coa intención de validar a hipótese inicial; ou (c) analizar de forma crítica os datos coa intención de modificar a predición inicial (Chinn & Brewer, 1998).

Predición

Cando se pregunta aos nenos que pensan que sucederá ao cubrir unha candea acendida cun vaso, nas quendas de fala 1 a 9 obsérvase a

elaboración de predicións por parte de dous participantes, Alicia e Adrián (ver Cadro 4.1).

Cadro 4.1. Fragmento da discusión [1] correspondente ao episodio de predición no grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Investigadora]: Ahora atentos. Estadés todos atentos? Temos unha vela, encendémola e despois tapámola cun vaso. Como científicos tedes que pensar que vai pasar.</i>	Solicita predicións.
2	<i>[Alicia]: Que se condensa o vaso.</i>	Emite unha predición.
3	<i>[Investigadora]: Tedes que pensar que vos parece e despois imos comprobar a ver.</i>	Solicita predicións.
4	<i>[Alicia]: As gotitas cando estaban tan quentes do fuego pode que tamén se condensen.</i>	Emite unha predición.
5	<i>[Investigadora]: E vós que pensades? Que se vos ocorre que pode pasar se eu teño unha vela encendida e a tapo?</i>	Solicita esclarecemento.
6	<i>[Alberto]: Eu como Alicia.</i>	Acepta a predición da compañeira sen cuestionar.
7	<i>[Adrián]: Eh/ poderase derretir.</i>	Emite unha predición.
8	<i>[Investigadora]: E por que se poderá derretir? Por que se che ocorre?</i>	Solicita unha explicación da predición.
9	<i>[Alicia]: Nun vaso de plástico pode que se derrita o vaso.</i>	Emite unha predición.

Na quenda de fala 2 deste primeiro episodio prodúcese a intervención de Alicia quen pensa que terá lugar un proceso de condensación sobre as paredes do vaso que tapa a candeia. A predición desta alumna acerca do fenómeno de combustión é incompleta, pero contén fragmentos consistentes coa interpretación do fenómeno desde o punto de vista da ciencia¹. Na quenda de fala 6 outro dos cativos, Alberto, acepta a predición da compañeira sen chegar a cuestionar a súa consistencia. En cambio, na quenda de fala 7 outro neno, Adrián, suxire unha predición alternativa á de Alicia sinalando que se derrete. A breve intervención que realiza este participante non permite inferir que elemento considera que se vai derreter, se a cera da candeia, o

¹ Durante a combustión da candeia ten lugar unha interacción química entre o material combustible e o osíxeno obténdose como produtos da reacción dióxido de carbono e auga en forma de vapor.

recipiente co que se vai cubrir ou ambos elementos. Na quenda de fala 9 obsérvase como Alicia considera plausible a predición de Alberto sempre e cando o vaso co que se tape a candeia sexa de plástico.

As quendas de fala 10 a 31 foron omitidas xa que non se produciron intervencións relevantes de cara ao obxectivo da investigación. Durante estas quendas de fala os estudantes unicamente pediron axuda para escribir algunhas palabras e fixeron preguntas acerca de como debían cubrir o cuestionario, xa que algúns nenos estaban preocupados por empregar un rotulador para escribir por se despois tiñan que borrar.

No Cadro 4.2 inclúense as quendas de fala 32 a 36 nas que se observa como unha das participantes, Alexandra, solicita que a súa compañeira Alicia esclareza a súa predición. Na quenda de fala 35, esta nena cuestiona que a candeia poida desprender vapor de auga. A súa compañeira Alicia fai énfase en que isto é posible sempre é cando a candeia estea perfectamente tapada, establecendo unha analoxía na quenda de fala 34 entre o que pensa que vai suceder durante o fenómeno de combustión e a condensación que se produce sobre os vidros das ventás ou dos espellos. Asemade, na quenda de fala 36 obsérvase como esta nena, Alicia, se ratifica na súa predición, engadindo que en caso de non producirse tal condensación, isto sería debido a que os recipientes que se ían empregar para cubrir a candeia tiñan unha pequena abertura a través da cal podería chegar a saír o que ela denominou “condensación”. Cómpre sinalar que os recipientes que se utilizaron para cubrir a candeia eran vasos de precipitados.

Cadro 4.2. Fragmento da discusión [2] correspondente ao episodio de predición no grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
32	<i>[Alicia]: Unha vela, un vaso que está tapando, e agora esto é o empañado ((comenta mentres debuxa)).</i>	Emite unha predición.
33	<i>[Alexandra]: Que empañado?</i>	Solicita esclarecemento.
34	<i>[Alicia]: O empañado. O que se pon nos cristales.</i>	Establece unha analoxía cun fenómeno da vida diaria.
35	<i>[Alexandra]: Esto pode botar vapor?</i>	Solicita esclarecemento.
36	<i>[Alicia]: Se está ben tapado, porque aquí ten unha esquina que está levantado e sale a condensación.</i>	Aclaración sobre a predición.

No Cadro 4.3 inclúense as quendas de fala 38 a 68 durante as que se observa como unha das participantes, Amelia, muda a súa predición inicial por mor da presión que exerce o grupo. Nun primeiro momento, esta nena sostén que se vai derreter.

Cadro 4.3. Fragmento da discusión [3] correspondente ao episodio de predición no grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
38	<i>[Adrián]: Vale, eu xa acabei. O vaso encima da vela.</i>	Describe a súa resposta no cuestionario.
39	<i>[Investigadora]: E que lle pasa?</i>	Solicita esclarecemento.
40	<i>[Adrián]: Que se empañou por eso ta/</i>	Emite unha predición.
41	<i>[Investigadora]: Por eso está así con cousiñas? ((facendo referencia ao debuxo que Adrián incluíu no cuestionario)).</i>	Solicita esclarecemento.
42	<i>[Amelia]: A min me parece que se derrite.</i>	Emite unha predición.
43	<i>[Adrián]: Pero se é de cristal::</i>	Cuestiona a predición da súa compañeira.
44	<i>[Investigadora]: E ti que debuxaches Alberto?</i>	Solicita predicións.
45	<i>[Alberto]: Esto é a vela e esto está un pouquiño empañado.</i>	Emite unha predición.
46	<i>[Investigadora]: E por que se empaña?</i>	Solicita unha explicación da predición.
47	<i>[Alberto]: Porque:: porque se empañou.</i>	Explicación tautolóxica da predición.
48	<i>[Investigadora]: Claro, pero eso non é razón.</i>	Solicita unha explicación alternativa.
49	<i>[Adrián]: Ó mellor é do fume.</i>	Explicación naturalista axentiva da predición.
66	<i>[Alicia]: Alberto, eu puxen o mesmo ca ti, se vai empañar.</i>	Concorda coa predición do compañeiro.
67	<i>[Investigadora]: E ti que puxeches Amelia?</i>	Solicita predicións.
68	<i>[Amelia]: Se vai empañar.</i>	Emite unha predición.

Na quenda de fala 43 obsérvase como Adrián cuestiona a predición de Amelia baseándose na idea que introducira Alicia na quenda de fala 9, na que suxería ao propio Adrián que o único que se podía derreter era o vaso empregado para tapar a candeia no suposto de que este fose de plástico, ao que a investigadora aclarou que o recipiente ía ser de vidro. Este neno apóiase nesta información dada pola investigadora, sinalando a imposibilidade de que o vaso se derreta sendo de vidro en lugar plástico como el pensara inicialmente. Finalmente, na quenda de fala 68 obsérvase como Amelia se decanta

por escribir no cuestionario a predición apoiada pola maioría do grupo, isto é, que o vaso que tapa a candeia se vai cubrir de bafo.

Cando a investigadora pide aos estudantes que expliquen porque pensan que o recipiente se vai embazar, na quenda de fala 47 obsérvase como Alberto ofrece unha explicación de tipo tautolóxico. Este alumno dá unha resposta redundante na que repite o predito para o fenómeno. A esta mesma pregunta da investigadora, Adrián responde na quenda de fala 49 que o recipiente pode embazarse polo fume. A explicación que dá este alumno pode clasificarse como naturalista axentiva, ao incorporar a intervención dunha axente, neste caso o fume, como a causa de que o recipiente se cubra de bafo.

Na Figura 4.2 amósase a predición escrita de Alicia, quen durante a maior parte desta fase da intervención mantivo a idea de que o recipiente co que se ía tapar a candeia se ía cubrir de bafo.

Neste primeiro episodio resulta especialmente relevante o feito de que haxa algúns participantes que mencionen a aparición de auga condensada sobre o recipiente antes da observación do fenómeno.



Figura 4.2. Resposta escrita de Alicia durante a fase de predición para a combustión dunha candeia: «Se empaña»

Observación

O segundo episodio deste evento comeza na quenda de fala 72 na que a investigadora inicia a execución do experimento ante os nenos, e remata na quenda de fala 195. Como se recolle no Cadro 4.4, nas quendas de fala 90 a 101 os nenos observan abraiados como a candeia se apaga ao cubrila co recipiente. A raíz desta observación, vese como na quenda de fala 97 un dos participantes, Adrián, constrúe unha

explicación naturalista axentiva ao incorporar a mediación dun axente (a humidade) como causa da extinción da chama. Na quenda de fala 100 obsérvase como a investigadora dirixe a observación do fenómeno coa intención de comprobar se os nenos foron quen de identificar o vapor de auga condensado sobre as paredes do recipiente.

Cadro 4.4. Fragmento da discusión [1] correspondente ao episodio de observación do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
90	<i>[Investigadora]: A ver, entónces agora cal tapamos primeiro? Esta? Ala, a ver que pasa.</i>	Execución do experimento.
91	<i>[Adrián]: Vaise empañar.</i>	Emite unha predición.
92	<i>[Investigadora]: Estadés todos convencidos de que se vai empañar?</i>	Solicita predicións.
93	<i>[Alicia]: Si.</i>	Mantén a predición inicial.
94	<i>[Investigadora]: E por que?</i>	Solicita unha explicación da predición.
95	<i>[Alicia]: Porque co fume se empaña o plato ((querendo referirse ao vaso de precipitados empregado para cubrir a candeal)). Ai! Se apagou!</i>	Explicación naturalista axentiva da predición e observación.
96	<i>[Investigadora]: Si, e por que se apagou?</i>	Solicita explicacións.
97	<i>[Adrián]: Porque está moi húmedo.</i>	Explicación naturalista axentiva.
100	<i>[Investigadora]: Vedes algo dentro?</i>	Dirixe a observación.
101	<i>[Varios]: Si, vapor!</i>	Realizan a observación.

Posteriormente, a investigadora procedeu a tapar ao mesmo tempo dúas candeas con dous recipientes de diferente tamaño para avaliar se os nenos eran quen de establecer algún tipo de relación entre a capacidade dos vasos e o tempo que as candeas permanecían acesas. Como se recolle no Cadro 4.5, nas quendas de fala 130 a 135 obsérvase como unha das participantes, Alexandra, establece que a candeal cuberta co recipiente de menor tamaño se apagou antes que a outra debido a que o vaso tiña unha abertura a través da cal entraba aire do exterior e, contrariamente á interpretación científica do fenómeno de combustión, para esta nena o aire apagaba os lumes. Esta explicación encádrase na categoría de naturalista axentiva, xa que de novo se incorpora a intervención dun axente externo (o aire) como causa de que a candeal se apague. Na quenda de fala 135 obsérvase

como a explicación de Alexandra non resulta de todo satisfactoria para Adrián, quen introduce unha idea que invalida a explicación da súa compañeira. Este alumno fai referencia a que a outra candeas tamén se apagou e máis o recipiente non tiña ningunha abertura.

Cadro 4.5. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación no grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
130	<i>[Investigadora]: E por que se apagaría antes a pequena ((a candeas cuberta co recipiente de menor tamaño))?</i>	Solicita explicacións.
131	<i>[Adrián]: En teoría teríase que apagar antes a grande.</i>	Incapacidade de explicar o observado.
132	<i>[Alexandra]: Porque ten aquí un buratiño ((referíndose á abertura do vaso de precipitados empregado para cubrir a candeas)).</i>	Identifica unha característica do recipiente como causa de que a candeas se apague.
133	<i>[Investigadora]: Si, pero por este buratiño por que se vai apagar antes?</i>	Solicita esclarecemento.
134	<i>[Alexandra]: Porque lle entra aire. O aire tamén apaga.</i>	Explicación naturalista axentiva.
135	<i>[Adrián]: Esta tamén se apagou eh!</i>	Introduce unha idea que invalida a explicación da compañeira.

A resposta dada por Alexandra é de esperar en nenos destas idades. Os nenos poden pensar que a chama se extingue porque entra aire, xa que é como eles habitualmente ven apagar as candeas (Martí, 2012). En experiencias durante a súa vida diaria, os nenos probablemente viron extinguir o lume das candeas ou de calquera outro material combustible que está ardendo soprando sobre a chama, de onde pode emerxer a idea intuitiva de que o aire apaga os lumes. O concepto de cambio químico constitúe unha idea sofisticada no dominio da materia e as súas transformacións, polo que os nenos de preescolar non teñen por que saber nada con relación a que cando unha candeas arde a cera se combina quimicamente co osíxeno do aire para formar novas substancias (Martí, 2012). Quizais os nenos non lembren ou non saiban que o aire ten osíxeno, e aínda que o lembren, non se espera que falen do osíxeno de xeito espontáneo en relación ao fenómeno de combustión (Martí, 2012).

Nas quendas de fala 135 a 195 obsérvase como os nenos seguiron probando a cubrir as candeas con recipientes de tamaño diverso. Durante este período non se produciron intervencións relevantes de cara aos obxectivos da investigación, xa que os nenos unicamente interviñeron para describir o observado ou facer referencia a aspectos de tipo procedimental relacionados coa execución da actividade. Asemade, durante este período da discusión prodúcese máis dunha intervención desligada da tarefa, xa que Alicia, a propósito da cera das candeas, aproveitou para contar unha anécdota relacionada cunha colmea que tiña na súa casa.

Explicación

O terceiro episodio deste evento esténdese desde a quenda de fala 196 ata a 245. Neste episodio, o resultado máis relevante prodúcese entre as quendas de fala 204 e 210 (ver Cadro 4.6).

Cadro 4.6. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación no grupo A

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
204	<i>[Alicia]: Esta é a máis grande e foise apagando. Eu xa o expliquei.</i>	Describe a súa resposta no cuestionario.
205	<i>[Investigadora]: E por que se apagou? Por que non se apaga cando non a tapo? Vós vedes que sen estar tapadas están encendidas un montón de tempo.</i>	Solicita explicacións e formula unha pregunta retadora.
206	<i>[Alicia]: A ver, non sei.</i>	Incapacidade de explicar o observado.
207	<i>[Investigadora]: Pois tes que pensar, que para esos somos científicos.</i>	Anima a construción de explicacións.
208	<i>[Alexandra]: Atopamos que se apagou.</i>	Retoma a observación.
209	<i>[Investigadora]: Vale, e por que se apagou?</i>	Solicita explicacións.
210	<i>[Alexandra]: Por que non lle entraba aire. Cal é a "lli" ((preguntado como se escribir o grupo consonántico -ll))?</i>	Explicación científica.

Como se reflicte no Cadro 4.6, unha das participantes, Alexandra, chegou a mencionar que a candea se apagara porque non entraba aire, dando unha explicación compatible co coñecemento científico. Foron as preguntas retadoras da investigadora as que desencadearon esta resposta, ao facer que os nenos se cuestionasen por que as candeas se

apagaban ao cubrilas cun recipiente e non ao estar descubertas. Cómpre salientar que esta resposta non é de esperar en nenos desta idade e resulta especialmente relevante, pois estudos previos indican que incluso os estudantes de primaria e secundaria teñen dificultades para mencionar a necesidade de osíxeno ou aire para manter a chama acesa (Prieto et al., 1992).

Na Figura 4.3 amósase a resposta que Alexandra incluíu no apartado de explicación do cuestionario, na que se observa que segue mantendo a idea de que a candeia se apagou pola falta de aire.



Figura 4.3. Resposta escrita de Alexandra durante a fase de explicación para a combustión dunha candeia: «A tapamos e se apagou porque non lle entraba o aire»

Nas quendas de fala 222 a 225 (ver Cadro 4.7) obsérvase como unha das participantes, Alicia, constrúe dúas explicacións naturalistas de tipo axentivo. Na quenda de fala 223, esta alumna explica a extinción da chama introducindo a intervención dun axente externo, neste caso o aire, que entraría a través da abertura do recipiente producindo que a candeia se apagara.

Sen embargo, na quenda de fala 225 obsérvase como esta alumna muda de pensamento e constrúe unha explicación naturalista axentiva alternativa, na que fai referencia ao vapor de auga como causa de que as candeas se apagarán. Esta alumna deixa entrever na súa resposta que o vapor de auga produciría un efecto semellante a botar auga sobre os lumes, extinguíndose deste xeito a chama.

Cadro 4.7. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación no grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
222	<i>[Investigadora]: E por que se apagaba antes a pequena sempre ó tapala co vaso pequeno? Co vaso pequeno apagábanse todas moito máis pronto.</i>	Solicita explicacións.
223	<i>[Alicia]: Porque tiña un buratiño e entráballe aire e as velas co aire tamén se apagan.</i>	Explicación naturalista axentiva.
224	<i>[Investigadora]: Por que se apagan co aire?</i>	Solicita esclarecemento.
225	<i>[Alicia]: ((Reflexionando sobre outra situación na que había unha chama)) Non se apagaba co aire, sopla:: e botáballe auga:: será polo vapor de auga.</i>	Explicación naturalista axentiva.

No fragmento da discusión comprendido entre as quendas de fala 226 a 245 producíronse intervencións pouco relevantes de cara a investigación. Durante este tramo final da discusión, os nenos interviñeron facendo referencia a cuestións non vinculadas coa actividade. Algúns dos nenos preguntaron por Adrián, quen durante un intre se ausentou da aula para ir ao baño, e outros preguntaron polo que tiñan que facer ao rematar.

4.4.5.2 Combustión dunha candeia: Análise do discurso do grupo B (EC1)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma datos. O primeiro episodio, integrado polas intervencións da etapa de predición, comprende as quendas de fala 1 a 71. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 72 a 178. O terceiro episodio, conformado polas intervencións da etapa de explicación, abrangue da quenda de fala 179 a 200.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 10 obsérvase a elaboración dunha predición polo alumno Brais, co obxectivo de describir o que pensa

que vai suceder cando unha candea acesa se cobre cun recipiente (ver Cadro 4.8).

Cadro 4.8. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo B

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
1	[Investigadora]: <i>Entonces ahora pensade como científicos. Se eu encendo esta vela, non?</i>	Solicita predicións.
2	[Brais]: <i>Si, vai facendo fume, pero se a botamos nunha cousa que non se poida evaporar choca no cristal.</i>	Emite unha predición.
3	[Investigadora]: <i>Entonces se eu encendo a vela e despois a tapo con esto ((un recipiente de vidro)), que pensades que lle vai pasar?</i>	Solicita predicións.
4	[Brais]: <i>Eu sei! Que dentro dun pouquiño, cando se queime un pouquiño máis vaise evaporando e choca no cristal.</i>	Emite unha predición.
5	[Investigadora]: <i>E que se vai evaporando?</i>	Solicita esclarecemento.
6	[Brais]: <i>As gotitas diminutas.</i>	Identifica o que “choca” coas paredes do recipiente con pequenas gotas.
7	[Investigadora]: <i>De que?</i>	Solicita esclarecemento.
8	[Brais]: <i>De auga, que nós non podemos ver. Está polo aire.</i>	Identifica o que “choca” coas paredes do recipiente con pequenas gotas de auga.
9	[Investigadora]: <i>E de onde sae esa auga?</i>	Solicita esclarecemento.
10	[Brais]: <i>Da nosa boca. Cando fai moito frío, facemos así ((facendo o xesto)) e sale vapor.</i>	Establece unha analoxía entre o que pensa que vai suceder e a vida diaria.

A predición formulada por Brais tórnase máis clara e completa a partir das intervencións da investigadora solicitando esclarecementos. Brais pensa que cando unha candea arde ten lugar unha evaporación, e que posteriormente gotas diminutas de auga chocan coas paredes do recipiente que a cobre. A predición formulada por este alumno semella proceder dun coñecemento cotián, pois na quenda de fala 10 vese como Brais establece unha analoxía entre o que pensa que vai suceder durante a combustión, e o vapor de auga que exhalamos a través da boca e que cando entra en contacto con aire a baixa temperatura

condensa formando minúsculas gotas de auga líquida. A predición de Brais comparte certos elementos coa interpretación científica do fenómeno, xa que deixa entrever un desprendemento de vapor de auga, e a auga constitúe un dos produtos da interacción química que ten lugar entre a cera da candeia e o osíxeno do aire. Non obstante, malia a insistencia da investigadora, non queda clara a procedencia dese vapor de auga que el describe como pequenas gotas que non podemos ver.

A continuación, a investigadora solicita aos demais integrantes do grupo que fagan explícitas as súas ideas, posto que estas poden diverxer das presentadas polo seu compañeiro Brais.

Nas quendas de fala 23 a 51 prodúcese a elaboración dunha predición alternativa á proposta por Brais nun proceso colaborativo. Como se mostra no Cadro 4.9, Branca establece como predición que a candeia se vai apagar. Como explicación da predición, esta alumna fai referencia a que dentro do recipiente co que se vai cubrir a candeia vai frío. A explicación que Branca dá para a súa predición pode clasificarse como naturalista axentiva ao incorporar a intervención dun axente alleo ao fenómeno, neste caso o frío, como causa de que a chama se extinga. A predición desta alumna é correcta no senso de que a candeia si se apaga ao cubrila cun recipiente, pero a explicación que proporciona Branca contradí a interpretación científica do fenómeno ao facer referencia ao frío e non a unha falta de osíxeno². Non se espera que nenos de Educación Infantil mencionen de xeito espontáneo a necesidade do aire ou do osíxeno para manter a candeia acesa, xa que non se espera que entendan nin saiban nada arredor do concepto de cambio químico.

A predición formulada por Bruno na quenda de fala 45 é similar á predición inicial de Brais (ver Cadro 4.8), xa que fai referencia a que van aparecer gotas sobre as paredes do recipiente. Na quenda de fala 51, este alumno explica a súa predición en base a que o fume procedente da chama da candeia choca contra as paredes do recipiente

² Desde o punto de vista científico, a chama extingúese debido a que a concentración de osíxeno no interior do recipiente que tapa a candeia diminúe ata un valor por debaixo do cal a combustión non se pode manter.

de vidro. A explicación de Bruno pode clasificarse como naturalista con intervención dun axente, neste caso o fume³.

Cadro 4.9. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo B

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
23	[Branca]: <i>Pode que se encenda a vela e como está moi frío eso ((o recipiente)) pode que se apague.</i>	Emite unha predición e constrúe unha explicación naturalista axentiva para a predición.
24	[Investigadora]: <i>Que se apague dis? E por que?</i>	Solicita explicacións.
25	[Brais]: <i>Porque o frío pode apagar calquera cousa.</i>	Explicación naturalista axentiva da predición.
26	[Investigadora]: <i>E por que aquí dentro vai facer máis frío?</i>	Solicita esclarecemento.
27	[Breixo]: <i>Porque:: porque está cerrado, y se va a enfriar tanto:: pero aquí no, afuera no.</i>	Presenta unha idea que apoia a predición de Branca.
28	[Investigadora]: <i>Pois entonces escribide o que pensades que vai pasar.</i>	Solicita ao grupo organizar as ideas.
45	[Bruno]: <i>Ó mellor o vapor choca co cristal e as gotiñas se poñen en todo o vaso.</i>	Emite unha predición.
46	[Investigadora]: <i>E ese vapor de onde sae?</i>	Solicita esclarecemento.
47	[Bruno]: <i>Do fuego.</i>	Explicación naturalista axentiva da predición.
48	[Investigadora]: <i>Do fuego dis? E por que pensas que pode sair do fuego?</i>	Solicita esclarecemento.
51	[Bruno]: <i>Porque o fume choca co cristal.</i>	Explicación naturalista axentiva da predición.

Na Figura 4.4 amósase a reposta que un dos participantes, Breixo, incluíu no apartado de predición do cuestionario, a cal concorda coa idea que sostivo durante a discusión cos compañeiros e a investigadora.

³ Desde o punto de vista científico, a substancia que condensa sobre as paredes do recipiente non é fume senón o vapor de auga que se forma como produto da combustión da cera.

COMO LA VELA CON EL FUEGO COMO
ESTA DENTRO DE UN VASO FRIO SE
APAGA LA VELA



Figura 4.4. Resposta escrita de Breixo durante a fase de predición para a combustión dunha candeia: «Como la vela con el fuego como está dentro de un vaso frío se apaga la vela»

Observación

O segundo episodio deste evento comeza na quenda de fala 72, na que a investigadora inicia a execución do experimento ante os nenos, e remata na quenda de fala 178.

Nas quendas de fala 86 a 100 que se recollen no Cadro 4.10, os participantes observan como ao cabo dun intre de cubrir a candeia cun recipiente, a chama se apaga, e o primeiro en dar conta desta observación foi Brais. Na quenda de fala 88 vese como outro alumno, Breixo, se sente satisfeito con esta observación, xa que non invalida a súa predición inicial de que a candeia se apaga por mor do frío que vai no interior do recipiente. A explicación que aporta Breixo na quenda de fala 88 encádrase dentro da categoría de naturalista axentiva, ao incorporar a intervención dun axente externo ao fenómeno (o frío) como causa de que a candeia se apague. Neste caso, a observación do fenómeno non fixo sentir ao alumno a necesidade de conciliar as discrepancias existentes entre o que esperaba que ía suceder e o que verdadeiramente sucede, ao haber concordancia entre a predición inicial e os datos empíricos (Coştu et al., 2010; Ravanis et al., 2013).

Na quenda de fala 92 vese como a investigadora ten a obriga de dirixir a observación para que os participantes se fixen no vapor de auga que condensou sobre as paredes do recipiente (ver Cadro 4.10). Tanto Brais como Branca asocian de xeito inmediato o embazamento co desprendemento de vapor de auga. Como se observa nas quendas de fala 95 e 98, esta observación apoia as predicións iniciais de Brais e

Bruno. Un deles, Bruno, segue mantendo que o embazamento se debe ao fume. O outro alumno, Brais, sostén que o embazamento se debe a que a candeas se quenta tanto que a cera se evapora. As explicacións de ambos alumnos pódense clasificar como naturalistas con intervención dun axente, nun caso o fume e noutro a calor.

Cadro 4.10. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo B

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
86	[Investigadora]: <i>Si, pero primeiro probamos con esta a ver que pasa.</i>	Execución do experimento.
87	[Brais]: <i>Pois eu creo que se apaga ((malia que emprega a palabra “creo”, menciona isto unha vez visto o que sucede)).</i>	Realiza a observación.
88	[Breixo]: <i>¡Se apagó con el frío!</i>	Explicación naturalista axentiva.
92	[Investigadora]: <i>E vedes algo por dentro?</i>	Dirixe a observación.
93	[Brais]: <i>As gotitas de va/</i>	Realiza a observación.
94	[Branca]: <i>Vapor de auga.</i>	Realiza a observación.
95	[Brais]: <i>Si, que se evaporou nunhas gotitas diminutas.</i>	Realiza a observación.
96	[Breixo]: <i>¡Huele a quemado!</i>	Fai unha apreciación acerca do olor desprendido.
97	[Investigadora]: <i>E de onde saen esas gotitas?</i>	Solicita explicacións.
98	[Bruno]: <i>Pois do fume.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
99	[Investigadora]: <i>E de que fume? Do fume de que?</i>	Solicita esclarecemento.
100	[Brais]: <i>Da vela. Porque se quentou tanto que as gotas quérense evaporar.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Como se recolle no Cadro 4.11, durante as quendas de fala 107 a 158 son os propios participantes os que teñen a iniciativa de queimar candeas de distinto tamaño para comprobar o que acontece. Na quenda de fala 108 obsérvase como a investigadora, aproveitando a suxestión dos participantes, decide cubrir dúas candeas de tamaño similar con dous recipientes de distinta capacidade, para valorar se os nenos son

quen de establecer algunha relación entre o tempo que tardan as candeas en apagarse e o tamaño do recipiente⁴.

Cadro 4.11. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo B

Quendas	Transcripción	Análise do discurso
107	<i>[Breixo]: Ahora va la pequeñita esa.</i>	Solicita repetir o experimento.
108	<i>[Investigadora]: Queredes esta? Pois ahora imos probar unha cousa. Ims encender estas dúas pequenas.</i>	Descrición do experimento.
122	<i>[Investigadora]: [...] Entonces ahora vedes que este é grande e este é pequeno ((referíndose ao tamaño dos recipientes para tapar as candeas)). Entonces eu se tapo estas dúas velas, que pensades? Que se van apagar ó mesmo tempo, máis tarde::</i>	Solicita predicións.
123	<i>[Breixo]: Ó mesmo tempo.</i>	Emite unha predición.
124	<i>[Brais]: Ó mesmo tempo. Eu digo o mesmo ca Breixo.</i>	Acepta a predición do compañeiro sen cuestionamento.
125	<i>[Investigadora]: E por que o mesmo tempo?</i>	Solicita explicacións para a predición.
126	<i>[Brais]: Porque se apagan moi moi rápido.</i>	Explicación naturalista non axentiva da predición
127	<i>[Investigadora]: E os demais que pensades?</i>	Solicita explicacións para a predición.
128	<i>[Branca]: Eu igual.</i>	Acepta a explicación do compañeiro sen cuestionamento.
146	<i>[Investigadora]: Ahora ímolas tapar ó mesmo tempo.</i>	Execución do experimento.
147	<i>[Breixo]: Ahora no se van a apagar.</i>	Emite unha predición.
148	<i>[Brais]: ¡Una! ((apágase a candea do recipiente pequeno)).</i>	Realiza a observación.
149	<i>[Breixo]: ¡Esa primero!</i>	Realiza a observación.
150	<i>[Brais]: Si, e esa segunda.</i>	Realiza a observación.
151	<i>[Breixo]: Esa tarda mucho. ¡Se ha puesto de otro color!</i>	Realiza a observación.
152	<i>[Investigadora]: E por que tarda máis esta? ((a candea do recipiente grande))</i>	Solicita explicacións.

⁴ Durante unha combustión ten lugar unha interacción química entre un combustible e o osíxeno para formar novos produtos, de maneira que tanto maior sexa o tamaño do recipiente máis tempo se manterá acesa a candea, xa que o recipiente albergará no seu interior unha maior cantidade de osíxeno.

153	<i>[Brais]: Porque esa é un pouco máis pequena ((a candea)) e esta un poquito máis grande.</i>	Explicación naturalista non axentiva.
154	<i>[Investigadora]: E que ten que ver eso con que tarde máis en apagarse?</i>	Solicita esclarecemento.
155	<i>[Brais]: Porque puxémola de segunda. Á pequena puxémoslle moi rápido o bote e á vela un pouco máis grande de segunda, por eso a pequena o fume apagóuselle.</i>	Creación de anomalías na execución do experimento para defender a explicación inicial.
156	<i>[Investigadora]: Pero non vistes que o puxemos o mesmo tempo?</i>	Retoma a observación.
157	<i>[Breixo]: Creo que lo pusimos un poquito tarde.</i>	Creación de anomalías na execución do experimento para defender a explicación inicial.
158	<i>[Investigadora]: Volvemos repetir entonces?</i>	Suxire repetir o experimento.

Durante as quendas de fala 109 a 121 prodúcese intervencións pouco relevantes de cara ao obxectivo da investigación. Durante este período da discusión, os nenos comparan os tamaños das candeas cos membros dunha familia, atribuíndo ás candeas de maior tamaño o rol de pais e ás candeas de menor tamaño o rol de fillos/as.

Na quenda de fala 122 a investigadora pide aos nenos que pensen que vai suceder ao tapar dúas candeas de xeito simultáneo con dous recipientes de distinto tamaño. Breixo predí na quenda de fala 123 que as candeas se apagarán ao mesmo tempo, e os demais compañeiros aceptan esta predición sen ningún tipo de cuestionamento. Na quenda de fala 126, Brais constrúe unha explicación naturalista non axentiva da predición ao sinalar que ambas candeas se van apagar ao mesmo tempo porque, polas súas características intrínsecas, se van apagar axiña.

Trala execución do experimento, na quenda de fala 152, a investigadora pregunta aos nenos porque a candea que fora cuberta co recipiente de maior tamaño tarda máis tempo en apagarse. Na quenda de fala 153 obsérvase como Brais se ampara en aspectos puramente sensoriais e fai referencia a unha lixeira desigualdade no tamaño das candeas como causa de que se apaguen en diferentes momentos. A explicación da predición dada por este alumno pode clasificarse como naturalista non axentiva, ao considerar que son as propiedades da

candeas, neste caso o tamaño, as que determinan o tempo que se manteñan acesas, establecendo unha relación de proporcionalidade directa entre o tamaño da candeas e o tempo que tardan en apagarse. Cando a investigadora solicita aos nenos un maior esclarecemento, nas quendas de fala 155 e 157 tanto Brais como Breixo crean anomalías inexistentes durante a execución do experimento para defender a súa explicación, en lugar de intentar buscar explicacións alternativas en virtude das evidencias dispoñibles. Así, estes alumnos fan referencia a que os recipientes non se colocaron no mesmo intre. Ante este tipo de dúbidas, das quendas de fala 158 a 174 a investigadora suxire repetir o experimento, pero os nenos continúan a defender a súa idea.

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue da quenda de fala 179 a 200.

Como se amosa no Cadro 4.12, ningún dos participantes sentiu a necesidade de construír unha explicación alternativa para o sucedido, mantendo a súa predición orixinal. Durante o proceso de raciocinio que demanda a conciliación das discrepancias existentes entre o que se espera que vai suceder e o que verdadeiramente sucede, os nenos adoptaron unha postura na que optaron por desconsiderar as probas a favor da predición inicial ou ben analizar os datos de forma parcial coa intención de validar a hipótese inicial (Chinn & Brewer, 1998).

Na quenda de fala 180 vese como a explicación de Brais segue xirando arredor do embazamento que ten lugar sobre as paredes do recipiente co que se cobre a candeas. A explicación que dá este alumno para o embazamento pode clasificarse como naturalista axentiva, ao mencionar a intervención dun axente externo, neste caso gotas, que chocan contra as paredes de vidro. Na quenda de fala 182 outro alumno, Breixo, continúa centrando a súa explicación arredor da extinción da candeas. A explicación que dá este alumno tamén pode considerarse como naturalista con intervención dun axente, ao incorporar o frío como causa de que a candeas se apague.

Por outra banda, cando na quenda de fala 186 a investigadora pide aos nenos que expliquen por que as candeas tardaron distinto tempo en apagarse ao ser cubertas con recipientes de diferente capacidade, os

nenos continuaron baseando a súa explicación en aspectos puramente sensoriais como o tamaño das candeas ou o tamaño da mecha.

Cadro 4.12. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo B

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
179	<i>[Investigadora]: A ver, ahora dádelle a volta á folla ((ao cuestionario empregado para a recollida de datos)). Que puxestes?</i>	Solicita explicacións.
180	<i>[Brais]: Cando as gotitas se evaporan, as gotitas chocan co cristal.</i>	Explicación naturalista axentiva.
181	<i>[Investigadora]: E vós?</i>	Solicita explicacións.
182	<i>[Breixo]: Yo, como la vela con el fuego está dentro de un vaso frío se apaga dentro la vela.</i>	Explicación naturalista axentiva.
186	<i>[Investigadora]: Pero tamén tedes que poñer unha explicación de por que se apagan a distinto tempo. Porque todos vós pensabades que se iban apagar ó mesmo tempo.</i>	Solicita explicacións.
187	<i>[Berta]: Porque unha é máis pequena.</i>	Explicación naturalista non axentiva.
188	<i>[Brais]: Porque a mediana ten eso onde encendemos o lume ((referíndose á mecha)) pequeno.</i>	Explicación naturalista non axentiva.
189	<i>[Berta]: Ahora aquí que hai que facer?</i>	Solicita información da tarefa.
190	<i>[Investigadora]: Pois por exemplo explicar por que non se apagaron ó mesmo tempo porque todos pensastes que se iban apagar xuntas, pero non. Entonces como científicos tedes que pensar no que vedes.</i>	Solicita explicacións.
191	<i>[Breixo]: ¿Qué ha pasado entonces?</i>	Amosa incapacidade de construír unha explicación alternativa para o observado.
192	<i>[Investigadora]: Tes que poñer o que a ti che pareza.</i>	Dirixe a execución da tarefa.
193	<i>[Breixo]: Pues yo creo que igual que atrás ((igual que na predición)). A mí me parece solo eso.</i>	Mantén como explicación do observado a predición inicial.

Como comentario final, cómpre mencionar que neste grupo, unha das participantes, Berta, practicamente non fixo ningunha intervención durante o desenvolvemento da actividade, e as poucas veces que fixo

algún comentario, este limitábase a asentir ou repetir as ideas dos compañeiros.

4.4.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo C (EC1)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma datos. O primeiro episodio, constituído polas intervencións da etapa de predición, comprende as quendas de fala 1 a 48. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 49 a 215. O terceiro episodio, constituído polas intervencións da etapa de explicación, abrangue das quendas de fala 216 a 293.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 11 obsérvase a construción de predicións nun proceso colaborativo. Como se recolle no Cadro 4.13, cando a investigadora pregunta aos nenos que pensan que sucederá ao cubrir unha candea cun recipiente, un deles, Carlos, na sexta quenda de fala predí que o vaso se vai evaporar. En cambio, outro neno, César, menciona na quenda de fala 8 que a candea queimarás o recipiente que a cobre. A explicación da predición que dá este alumno pode clasificarse como naturalista non axentiva, ao facer referencia que a candea queimarías ao vaso pola propia natureza do material do que está feito, que el supón de ferro. Esta predición é apoiada polo seu compañeiro Cibrán, quen na quenda de fala 10 tamén sinala que o recipiente se vai queimar. Porén, a explicación que Cibrán dá para o feito de que o vaso se queime difire da explicación dada polo seu compañeiro. Cibrán incorpora a intervención dun axente externo, a calor, como causa de que o vaso se poida queimar, podendo clasificarse a súa explicación da predición como naturalista axentiva. Na quenda de fala 11 obsérvase como César establece un símil entre o que sucedeu nuns debuxos animados e o que pensa que vai suceder ao tapar a candea co recipiente, recorrendo así a un coñecemento xestado no ámbito da vida diaria na busca dun respaldo para a súa predición.

Cadro 4.13. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
5	<i>[Investigadora]: Bueno, pois ahora atendede. Tedes que pensar como científicos. Celso, atende. Imos tapar unha vela encendida cun vaso, que pensades que vai pasar?</i>	Solicita predicións.
6	<i>[Carlos]: Que o vaso se vai evaporar.</i>	Emite unha predición.
7	<i>[Investigadora]: Por que se vai evaporar?</i>	Solicita explicacións.
8	<i>[César]: A vela queimaríase o vaso. Porque o vaso é de ferro.</i>	Emite unha predición e dá unha explicación naturalista non axentiva para a predición.
10	<i>[Cibrán]: A llama está tan caliente que calienta o/ a llama caliente tanto o metal que se queima.</i>	Emite unha predición e dá unha explicación naturalista axentiva para a predición.
11	<i>[César]: Si, vin un episodio duns coches que caeu lava dunha montaña, puñeron ferro e a lava destrozouno.</i>	Respaldo da predición mediante un coñecemento intuitivo.

Nas quendas de fala 12 a 15 que se recollen no Cadro 4.14 obsérvase como a predición de César e Cibrán é posta en dúbida por un dos seus compañeiros. Na quenda de fala 12 a investigadora aclara aos nenos que o recipiente que se vai empregar para cubrir a candeia non é de ferro senón de vidro. Non obstante, esta información case non muda a predición inicial de César, quen na quenda de fala 13 segue insistindo en que o vaso se vai derreter, deixando de ter o material do que está feito o recipiente influencia sobre o devir do fenómeno.

Cadro 4.14. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
12	<i>[Investigadora]: Pero o vaso co que a tapamos é de cristal.</i>	Aclaración sobre a execución do experimento.
13	<i>[César]: Pero pódese derretir.</i>	Emite unha predición.
14	<i>[Investigadora]: Vaise derreter tamén? E por que?</i>	Solicita explicacións.
15	<i>[Celso]: No, non se vai derretir porque a vela non vai queimar tanto como a lava dos volcáns.</i>	Introduce unha idea que cuestiona a predición dos compañeiros.

Na quenda de fala 15 obsérvase como a predición de César e Cibrán non satisfai as expectativas de Celso, quen introduce unha idea que pon en cuestionamento a predición dos compañeiros, ao facer referencia a que a candea non vai chegar a transferir tanta calor como a lavas dos volcáns.

Nas quendas de fala 16 a 42 que se recollen no Cadro 4.15 obsérvase como a presión que exercen as opinións dos compañeiros sobre Celso provocan que este alumno acabe adoptando a predición maioritaria do grupo. Nas quendas de fala 17 e 18, dous alumnos, Cibrán e Carlos, suxiren que se vai derreter. Estes alumnos non fan explícito que elemento se vai derreter, pero tendo en conta a discusión establecida nas quendas de fala anteriores, intúese que seguen a referirse ao vaso. A explicación que dá Carlos para a súa predición incorpora a intervención dun axente, a calor. Na quenda de fala 42, despois de que a investigadora pedise a Celso que esclarecese o seu debuxo, este participante sinala que no cuestionario tamén escribiu como predición que se vai derreter.

Cadro 4.15. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de predición do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
16	<i>[Investigadora]: E ti Carlos, que pensas que vai pasar?</i>	Solicita predicións.
17	<i>[Cibrán]: Se derrite.</i>	Emite unha predición.
18	<i>[Carlos]: Que se derrite pola calor.</i>	Emite unha predición e dá unha explicación naturalista axentiva para a predición.
19	<i>[Celso]: Aquí poñemos o que vai pasar?</i>	Solicita esclarecemento sobre a tarefa.
20	<i>[Investigadora]: Aí poñedes o que vai pasar, se queredes debuxar ou escribir.</i>	Aclaración sobre a tarefa.
28	<i>[Investigadora]: E que debuxastes?</i>	Solicita esclarecemento.
29	<i>[Carlos]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
38	<i>[Investigadora]: Ti Celso, acabaches?</i>	Solicita información acerca do estado de desenvolvemento da tarefa.
40	<i>[Carlos]: Sólo lle falta esto.</i>	Dá información acerca do estado da tarefa.
41	<i>[Investigadora]: Pero que debuxaches aí?</i>	Solicita esclarecemento.
42	<i>[Celso]: Que se derrite tamén.</i>	Emite unha predición.

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 49 a 215.

Nas quendas de fala 49 a 61 prodúcense intervencións que non están directamente relacionadas co desenvolvemento da tarefa. Ante un comentario da investigadora acerca da fragilidade dos recipientes de vidro que se ían empregar para tapar as candeas, os nenos contan como romperan diversos obxectos nas súas casas. De seguido, nas quendas de fala 53 a 61 os nenos escollen de entre todas as candeas dispoñibles, a que queren acender primeiro.

Cando a investigadora desenvolve ante os nenos a experiencia, en primeiro lugar observan como a cera da candea se derrete. Nas quendas de fala 62 a 71 que se recollen no Cadro 4.16 vese como os participantes buscan encaixar as súas predicións coa observación do fenómeno, de aí que neste intre da intervención os nenos fagan especial énfase en que eles debuxaran como predición unha candea derreténdose, cando anteriormente mencionaran principalmente que era o recipiente o que se ía derreter.

Cadro 4.16. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo C

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
62	[César]: <i>Non se vai derretir, é verdad.</i>	Dubida sobre a predición.
63	[Carlos]: <i>Pero eu veo gotas.</i>	Realiza observacións.
64	[Cibrán]: <i>Sí, se está derretindo.</i>	Realiza observacións.
65	[Investigadora]: <i>Que se está derretendo?</i>	Solicita esclarecemento.
66	[César]: <i>Por arriba non hai nada derretido.</i>	Realiza observacións.
67	[Carlos]: <i>A vela ((en referencia á cera)).</i>	Realiza observacións.
68	[Celso]: <i>Pero eu dibujei que se derrite a vela.</i>	Terxiversa a súa predición para axustala á observación.
69	[Cibrán]: <i>Eu tamén. Eu debuxei que se derriteu a vela.</i>	Terxiversa a súa predición para axustala á observación.
70	[Investigadora]: <i>Pero ó vaso non lle pasa nada.</i>	Fai énfase na discrepancia existente entre a predición inicial e a observación.
71	[Cibrán]: <i>Eu dibujei que se derrite a vela.</i>	Terxiversa a súa predición para axustala á observación.

Durante as quendas de fala 72 a 107 volve repetirse a experiencia coa intención de que os nenos poidan fixarse naqueles aspectos que pasaron desapercibidos durante unha primeira aproximación ao fenómeno, como por exemplo a condensación do vapor de auga.

Como os nenos seguen a non darse conta do embazamento que se produce no vaso, durante as quendas de fala 108 a 153 que se recollen no Cadro 4.17 a investigadora dirixe a observación para que os participantes centren a súa atención no vapor de auga que condensou sobre as paredes do recipiente.

Cadro 4.17. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo C.

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
108	<i>[Investigadora]: E nesta non notades nada dentro? Sodes moi pouco observadores para ser científicos.</i>	Dirixe a observación.
109	<i>[Celso]: Está un pouco quente por debaixo.</i>	Realiza observacións.
110	<i>[Investigadora]: Pero así desde fóra non vedes nada?</i>	Dirixe a observación.
111	<i>[Celso]: Están quentes. Están quentes por abaixo ((referíndose aos recipientes cos que se taparon as candeas)).</i>	Realiza observacións.
112	<i>[Investigadora]: Pero por fóra non vedes nada?</i>	Dirixe a observación.
113	<i>[Celso]: Por abaixo están quentes ((referíndose aos recipientes cos que se taparon as candeas)).</i>	Realiza observacións.
115	<i>[César]: A vela estase derretindo ((taparon unha candeia acendida de novo)).</i>	Realiza observacións.
116	<i>[Cibrán]: Si! Se derrite.</i>	Realiza observacións.
117	<i>[Celso]: Se derrite esto! ((sinala a cera))</i>	Realiza observacións.
118	<i>[Investigadora]: A ver e por dentro non vedes:: posto así o vaso, non vedes nada?</i>	Dirixe a observación.
119	<i>[César]: Si, eu si que vexo.</i>	Realiza observacións.
120	<i>[Investigadora]: E que ves?</i>	Solicita esclarecemento.
121	<i>[César]: Gotitas pequenitas de auga. Hala!</i>	Realiza observacións.
149	<i>[Investigadora]: E de onde saen esas gotas?</i>	Solicita explicacións.
150	<i>[Celso]: Da vela! Da vela encendida.</i>	Relaciona a aparición de auga coa candeia.
151	<i>[Investigadora]: E por que cres que saen da vela?</i>	Solicita esclarecemento.
152	<i>[Carlos]: Porque se derriten.</i>	Explicación naturalista axentiva.
153	<i>[Celso]: Porque se derrite ó fogo.</i>	Explicación naturalista axentiva.

En resposta a unha pregunta da investigadora acerca da procedencia da auga, as intervencións de Carlos e Celso nas quendas de fala 152 e 153 suxiren que estes nenos consideran que a cera da candea se derrete e se transmuta en gotas de auga pola acción da calor. Estas explicacións acerca da orixe da auga poden ser clasificadas como naturalistas de tipo axentivo, ao incorporar a intervención dun axente, neste caso a calor.

Posteriormente, a investigadora procedeu a tapar ao mesmo tempo dúas candeas con dous recipientes de diferente tamaño para avaliar se os nenos eran quen de establecer algún tipo de relación entre a capacidade dos vasos e o tempo que as candeas permanecían acesas. Nas quendas de fala 168 a 174 que se recollen no Cadro 4.18 obsérvase como dous participantes, Celso e César, recorren a aspectos puramente sensoriais como o tamaño das candeas para explicar por que a candea cuberta co recipiente de menor tamaño se apaga antes que a outra. As explicacións producidas por estes nenos poden ser clasificadas como naturalistas de tipo non axentivo, pois fan alusión a que o tamaño da candea é o factor que determina a celeridade coa que unha candea se apaga, sendo as características intrínsecas do obxecto involucrado no fenómeno as que desencadean o cambio. Ante a insistencia da investigadora arredor desta observación, na quenda de fala 177 vese como Celso muda a súa explicación inicial e fai referencia a que a candea se apagou porque no interior do recipiente había aire. Esta resposta pode esperarse en nenos de curta idade, pois na súa vida diaria probablemente teñan visto que as candeas se apagan habitualmente soprando sobre a chama, de aí que desta análise meramente observacional poida derivar a concepción reducionista de que o aire apaga o lume. Como sinalan Driver et al. (1989), as ideas do alumnado acerca do mundo natural están baseadas en regras de inferencia causal aplicadas aos datos recollidos mediante un proceso de carácter sensorial. A explicación deste participante pódese clasificar como naturalista axentiva, xa que menciona que a intervención dun axente externo (o aire).

Cadro 4.18. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo C

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
168	<i>[Investigadora]: E por que se apaga antes a pequena ((a candeia cuberta co recipiente de menor tamaño))?</i>	Solicita explicacións.
169	<i>[Celso]: Porque é máis pequena ca esa.</i>	Explicación naturalista non axentiva.
173	<i>[Investigadora]: Por que se apagaría antes a do vaso máis pequeno?</i>	Solicita explicacións.
174	<i>[César]: Porque esta é a máis pequena. É máis pequena esta.</i>	Explicación naturalista non axentiva.
177	<i>[Celso]: Porque aí había aire. Sólo aire.</i>	Explicación naturalista axentiva.
178	<i>[Carlos]: Porque non había oxígeno igual.</i>	Explicación científica.
179	<i>[Investigadora]: Onde non había oxígeno?</i>	Solicita esclarecemento.
180	<i>[Carlos]: Dentro da botella ((referíndose ao recipiente que cobre a candeia)).</i>	Esclarecemento da explicación.
181	<i>[Celso]: Si que había oxígeno. O oxígeno é o que fai que teña sólo aire.</i>	Argumenta en contra da explicación do compañeiro.

En cambio, nun intento por explicar a extinción da chama da candeia ao tapala cun vaso, na quenda de fala 178 ten lugar a construción dunha explicación por parte de Carlos que resulta comparable ao coñecemento da ciencia escolar. Este neno chega a mencionar que posiblemente a candeia se apagara porque no interior do recipiente non había osíxeno. Esta reposta na que se contempla a necesidade do osíxeno non se espera en nenos de preescolar, xa que non teñen por que saber nada acerca do fenómeno de combustión. Na quenda de fala 181 vese como Celso non acepta a explicación de Carlos argumentando que no interior do vaso hai aire e que, en consecuencia, tamén ten que haber osíxeno.

Nas quendas de fala 191 a 208 que se recollen no Cadro 4.19 obsérvase como a presión que exerce a explicación maioritaria do grupo arredor da causa pola cal a candeia se apaga ao tapala cun vaso fai que Carlos acabe desestimando a súa explicación.

Cadro 4.19. Fragmento da discusión [4] durante o episodio de observación do grupo C

Quendas	Transcrición	Análise do discurso
191	<i>[Investigadora]: A ver, atendede. César, non vos vou dar nada a ningún. Por que pensades que pasa eso?</i>	Solicita explicacións.
192	<i>[Celso]: Porque hai sólo aire.</i>	Explicación naturalista axentiva.
195	<i>[Investigadora]: Onde ten sólo aire?</i>	Solicita esclarecemento.
196	<i>[Celso]: No vaso.</i>	Esclarecemento da explicación.
197	<i>[Cibrán]: O aire derrite as velas.</i>	Incorpora unha nova idea.
198	<i>[Celso]: No, apaga o fuego.</i>	Rexeita a idea do compañeiro e introduce unha nova idea.
203	<i>[Investigadora]: A ver, Carlos, que decías ti?</i>	Busca retomar a explicación do participante.
204	<i>[Carlos]: Que cando soplamos o fueg/ se quita o fuego e igual cando metemos a vela dentro::</i>	Explicación naturalista axentiva.
205	<i>[Investigadora]: Está falando Carlos ((os demais intentan interromper continuamente con cuestións alleas á actividade)). Hai que atender a todos.</i>	Dirixe a actividade.
206	<i>[Carlos]: Cando metemos dentro a vela igual hai aire e apágao.</i>	Explicación naturalista axentiva.
207	<i>[Investigadora]: Pero antes decías que ó poñer o vaso por encima ó mellor xa non había aire.</i>	Busca retomar a explicación do participante.
208	<i>[Celso]: Si que había aire, sólo aire.</i>	Reafirma a explicación.

Cando a investigadora intenta que Carlos retome a explicación que dera baseada na ausencia de osíxeno, na quenda de fala 204 obsérvase como este neno reformula o seu discurso para facer referencia a que a candeia se apaga por mor de que no interior do recipiente hai aire. Vemos como este participante tamén recorre a un coñecemento intuitivo xestado a partir de experiencias na vida diaria nas cales tiveron a oportunidade de ver como as chamas se apagan soprando sobre elas. Esta explicación encádrase na categoría de naturalista axentiva, ao incorporar a intervención dun axente externo (o aire).

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue desde as quendas de fala 216 a 293. Durante o transcurso deste episodio, os nenos rexistraron por escrito as súas explicacións do acontecido. Nas quendas de fala 216 a 235 non se produciron intervencións relevantes de cara ao obxectivo da investigación. Durante este fragmento da discusión, os nenos comezan a pintar a un personaxe dunha serie de debuxos animados, de xeito que a investigadora se ve na obriga de intervir para dirixir o desenvolvemento da actividade, explicando aos nenos o que teñen que facer durante esta fase da intervención.

Unha vez retomada a actividade, nas quendas de fala 235 a 261 do Cadro 4.20 móstrase como os participantes seguen mantendo a explicación de que a candeia se apagou porque dentro do recipiente había aire.

Cadro 4.20. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
235	<i>[Investigadora]: Tes que explicar o que viches. A ver, como explicas.</i>	Solicita explicacións.
236	<i>[César]: A vela derretiuse.</i>	Retoma as observacións.
237	<i>[Investigadora]: E non pasou nada máis logo? Non viches nada máis?</i>	Estimula a reflexión.
238	<i>[Cibrán]: Que se derreteu e quedaba debaixo quente.</i>	Retoma as observacións.
239	<i>[César]: Eu acertei á primeira.</i>	Mantén a predición.
240	<i>[Carlos]: Eu vin que se apagaba.</i>	Retoma as observacións.
241	<i>[Investigadora]: E por que se apagaba?</i>	Solicita explicacións.
254	<i>[Carlos]: Porque alí sólo había aire.</i>	Explicación naturalista axentiva.
255	<i>[Investigadora]: E a que está fóra logo?</i>	Reta a explicación dos participantes.
256	<i>[César]: Porque alí dentro había aire.</i>	Explicación naturalista axentiva.
257	<i>[Investigadora]: E logo aquí non temos ((aire))? Como respiramos nós entón?</i>	Reta a explicación dos participantes.
258	<i>[César]: Aquí hai moito aire ((no recipiente)).</i>	Defensa da explicación.
259	<i>[Celso]: Si, e as gotitas tamén forman o aire e tamén están nas nubes.</i>	Expresa un coñecemento teórico adquirido na escola.

260	<i>[Investigadora]: Pero aquí ((na aula)) tamén aínda hai máis.</i>	Reta a explicación dos participantes.
261	<i>[Celso]: Si, pero aquí non se sabe moito por onde está porque aquí móvese moito máis o aire.</i>	Defensa da explicación.

Na quenda de fala 257 a investigadora busca retar a explicación dos nenos incorporando a idea de que na aula tamén hai aire e máis as candeas ao estar destapadas non se apagan. Ante esta pregunta retadora da investigadora que cuestiona as explicacións dos nenos, un dos participantes, Celso, terxiversa a realidade a fin de defender a súa explicación previa. Así, na quenda de fala 261, este neno sostén que cando as candeas están destapadas non se apagan porque ao ser a aula un espazo moito máis grande, o aire desprázase tamén en maior medida, e “non se sabe moito por onde está”.

Na quenda de fala 285 que se recolle no Cadro 4.21 prodúcese a intervención de Cibrán para facer referencia a que a candea se derrete co aire.

Cadro 4.21. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
282	<i>[Investigadora]: Despois falo nese. Acabaches Cibrán?</i>	Solicita información acerca do progreso da actividade.
285	<i>[Cibrán]: Que se derrete co aire.</i>	Explicación naturalista axentiva.
286	<i>[Investigadora]: César, ti que escribiches aí? Escribiches un montón. E que eu desde aquí non vexo ben. A vela vaise:: ((lendo o que puxo)).</i>	Solicita explicacións.
287	<i>[Cibrán]: Está.</i>	Dá información acerca do progreso da actividade.
288	<i>[Celso]: Acabei de repasar a Narigota.</i>	Dá información non relacionada coa actividade.
289	<i>[Cibrán]: Eu fixen que se derretía e máis puxen que se derretía co aire. Mira, super Narigota.</i>	Explicación naturalista axentiva.
290	<i>[Investigadora]: Pero que dixeches? Que se derretía co aire?</i>	Solicita esclarecemento.
291	<i>[Cibrán]: Si.</i>	Mantén a explicación.
292	<i>[Investigadora]: E por que co aire?</i>	Solicita esclarecemento.
293	<i>[Cibrán]: Porque o aire apaga os fuegos e apaga as velas. Porque vai pa abaixo o fuego e derrete a vela.</i>	Explicación naturalista axentiva.

Cando a investigadora solicita ao neno que esclareza esta interpretación, na quenda de fala 293 obsérvase como Cibrán constrúe dúas explicacións naturalistas de tipo axentivo para dar conta das observacións realizadas durante a execución do experimento. Este alumno explica a observación de que a chama se extingue e a observación de que a cera se derrete a través da intervención de dous axentes, nun caso o aire e, no outro, a calor que transfire o lume.

4.4.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo A (EC1)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado formula predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 76. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 77 a 183. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno observado, abrangue as quendas de fala 184 a 226.

Predición

O primeiro episodio deste evento abrangue das quendas de fala 1 a 76. Nas quendas de fala 1 a 46 a investigadora explica aos nenos que teñen que pensar no que pode suceder ao quentar azucre. Durante este fragmento da discusión a investigadora tivo que facer especial énfase en que se ía quentar soamente azucre, xa que os nenos tendían a pensar no azucre unha vez incorporado a outros sistemas materiais como a auga, o leite ou o café. Tralas aclaracións arredor do desenvolvemento da actividade, nas quendas de fala 47 a 55 que se recollen no Cadro 4.22 ten lugar a formulación de predicións por parte de dous participantes entre as cales existe confrontación. Cando a investigadora pregunta aos nenos que sucederá ao quentar azucre, na quenda de fala 48 Amelia fai referencia a que o azucre se vai desfacer. En subseguintes intervencións vese como esta alumna emprega o termo “desfacer” como sinónimo de “derreter”. A explicación da

predición que formula esta alumna na quenda de fala 50 pode clasificarse como naturalista con intervención dun axente, ao mencionar o lume como causa de que o azucre se poida derreter.

Cadro 4.22. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
47	[Investigadora]: <i>Que puxeches ti Amelia?</i>	Solicita predicións.
48	[Amelia]: <i>Que se vai desfacer.</i>	Emite unha predición.
49	[Investigadora]: <i>E por que se vai desfacer?</i>	Solicita explicacións.
50	[Amelia]: <i>Porque cando lle entra o lume, derrétese.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
51	[Adrián]: <i>O azúcar non se pode derretir.</i>	Oponse á predición da compañeira.
52	[Investigadora]: <i>E por que cres que non se pode derreter?</i>	Solicita esclarecemento.
53	[Adrián]: <i>Porque non é hielo!</i>	Argumenta en contra da predición da compañeira.
54	[Investigadora]: <i>E logo o hielo que ten de especial para que se derreta?</i>	Solicita esclarecemento.
55	[Adrián]: <i>Porque é auga conxelada e pódese derretir, pero o azúcar non. Más ben rompe, pero non se desfai.</i>	Argumenta en contra da predición da compañeira.

Na quenda de fala 51, obsérvase como Adrián rexeita de maneira tallante a predición da súa compañeira sinalando que o azucre non se pode derreter. Na quenda de fala 55, os argumentos que constrúe este participante para invalidar a predición da súa compañeira fan referencia a que soamente o xeo se pode derreter porque se trata de auga conxelada, pero que o azucre rompe.

Nas quendas de fala 57 a 62 que se recollen no Cadro 4.23 obsérvase como unha participante, Alexandra, apela á súa experiencia na vida diaria para construír unha predición do fenómeno. Esta participante sinala que o azucre se vai desfacer “ao cocelo”, xa que anteriormente tiña observado como o azucre se “desfacía” cando seu pai llo botaba ao café quente. A explicación da predición que dá Alexandra pode encadrarse na categoría de naturalista con intervención dun axente (a calor). Nestas intervencións vese como a alumna usa o termo “desfacer” como sinónimo de “disolver”.

En virtude do marco conceptual desenvolto por Andersson (1990), todas as predicións do alumnado deste grupo encádranse no

modelo de modificación para a interpretación dos cambios químicos. Segundo os cativos, a substancia, neste caso o azucre, unicamente mudaría de propiedades físicas (rompe, desfáise, derrétese...).

Cadro 4.23. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
57	[Investigadora]: <i>Que puxeches ti, a ver?</i>	Solicita predicións.
58	[Alexandra]: <i>Que se vai a desfacer.</i>	Emite unha predición.
59	[Investigadora]: <i>E por que se vai desfacer?</i>	Solicita explicacións.
60	[Alexandra]: <i>Porque o azúcar se desfai moi pronto cando o coces.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
61	[Investigadora]: <i>E por que se desfai tan pronto?</i>	Solicita esclarecemento.
62	[Alexandra]: <i>Porque vin no vaso de papá azúcar desfeito.</i>	Explicación da predición baseada en experiencias cotiás.

Nas derradeiras quendas de fala dese episodio, os nenos realizan intervencións sobre cuestións alleas aos obxectivos da actividade, describindo como toman seus pais o café e como serven o almorzo nalgúñas cafeterías da contorna.

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 77 a 183. Durante as primeiras quendas de fala deste episodio a investigadora comeza a desenvolver a experiencia ante os nenos, quentando o azucre contido nun tubo de ensaio cun chisqueiro de alcohol. Durante este fragmento da discusión os nenos formulan dúbidas de tipo procedimental relacionadas coa actividade. Así, por exemplo, preguntan como se vai quentar e se a substancia que hai dentro do queimador se trata de alcohol.

Nas quendas de fala 103 a 117 que se recollen no Cadro 4.24 os participantes observan como a mestura comeza a adquirir unha coloración amarela que cada vez se torna máis escura.

Na quenda de fala 124 que se inclúe no Cadro 4.25 obsérvase como un dos participantes, Adrián, intervéen para preguntar que é o que hai dentro do tubo de ensaio. Chama a atención como o cambio de cor e a formación de burbullas no seo da mestura a consecuencia da

liberación de vapor de auga fan pensar ao alumno que o que hai contido no tubo de ensaio non pode ser azucre.

Cadro 4.24. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
103	<i>[Investigadora]: Vedes por atrás. Que ten por aquí?</i>	Dirixe a observación.
104	<i>[Alexandra]: Laranxa!</i>	Realiza observacións.
106	<i>[Alicia]: Pero é que lle pasou eso o cristal ou e que é por dentro?</i>	Solicita esclarecemento acerca das observacións.
107	<i>[Investigadora]: Non, eso é por dentro. Ves?</i>	Esclarece a tarefa.
112	<i>[Adrián]: A min dáme asquete por debaixo.</i>	Transmite impresións da tarefa.
113	<i>[Investigadora]: E por que che dá asquete?</i>	Solicita esclarecemento das impresións.
114	<i>[Adrián]: Pola cousa esa amarela.</i>	Realiza observacións.
117	<i>[Alexandra]: Estase poñendo máis, estase poñendo máis.</i>	Realiza observacións.

Este grupo de participantes de Educación Infantil, como era de esperar, descoñecía o que implicaba un cambio químico. Sen embargo, ao longo da intervención vese como o feito de dar aos nenos a oportunidade de observar e reflexionar sobre o fenómeno, permite que cheguen a construír interpretacións nas que se intúe unha idea incipiente de cambio químico segundo a cal o azucre se transforma noutra(s) substancia(s) diferente(s).

Por exemplo, na quenda de fala 128 ten lugar a construción dunha explicación por parte de Alberto na que apela a unha transformación do azucre en Coca-Cola. Este neno basea a súa resposta nas similitudes (cor, burbullas...) observadas entre a mestura formada durante a descomposición térmica do azucre e dito refresco. A explicación deste alumno pode encadrarse na categoría de sintética, ao manifestar unha idea macroscópica incipiente de cambio químico na que fai referencia a que unha substancia, neste caso o azucre, se transforma noutra sustancia diferente, neste caso o refresco de cola. Tomando como referencia o marco conceptual proposto por Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos, a resposta de Alberto tamén é comparable ao modelo de transmutación

segundo o cal as substancias se transforman noutras substancias diferentes sen conservarse a identidade atómica.

Cadro 4.25. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
124	[Adrián]: <i>Que é eso?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa.
125	[Investigadora]: <i>Esto era azúcar, non vistes que botei aquí azúcar?</i>	Esclarece a tarefa.
126	[Adrián]: <i>Entonces porque ten tantas burbuxas?</i>	Realiza observacións.
127	[Investigadora]: <i>Vistes na parede ((do tubo de ensaio)) que hai?</i>	Dirixe a observación.
128	[Alberto]: <i>Porque hai moita Coca Cola.</i>	Explicación sintética.
129	[Adrián]: <i>Xa sei que é. Ta mollado por aí.</i>	Realiza observacións.
130	[Investigadora]: <i>E por que está así mollado?</i>	Solicita explicacións.
131	[Alexandra]: <i>É Coca-Cola, a Coca-Cola faise así?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa.
132	[Adrián]: <i>Porque se:: porque:: porque o cristal:: porque as gotitas chocan co cristal e mollárono.</i>	Explicación naturalista axentiva.
133	[Investigadora]: <i>E de onde viñeron esas gotitas?</i>	Solicita esclarecemento.
134	[Adrián]: <i>De aí ((do tubo de ensaio onde se botou o azucre)).</i>	Esclarece a explicación.
135	[Investigadora]: <i>De aquí? Do azúcar?</i>	Solicita esclarecemento.
136	[Adrián]: <i>Si ((do azucre)).</i>	Esclarece a explicación.
137	[Alexandra]: <i>Eh:: profe:: eso é Coca-Cola?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa.
138	[Investigadora]: <i>Parécevos Coca-Cola?</i>	Solicita interpretacións.
140	[Alberto]: <i>Home, é negra.</i>	Fai explícita a observación na que basea a explicación.

Por outra banda, na quenda de fala 132 que se recolle no Cadro 4.25 obsérvase como un neno, Adrián, ten claro que a auga que aparece sobre as paredes do tubo de ensaio se debe a pequenas gotas procedentes do azucre que “chocaron” co recipiente. Intervencións como as de Adrián na quenda de fala 132 suxiren que estes nenos non conciben o vapor de auga como un estado da materia diferente ao da auga líquida, senón como gotas minúsculas de auga que non podemos

ver. Cremos que esta noción de vapor como diminutas partículas de auga, xestada probablemente durante a participación do alumnado nun proxecto de ciencias sobre o ciclo da auga anterior a esta intervención na aula, pode revelar unha incipiente visión corpuscular da materia.

Durante o último fragmento deste episodio comprendido entre as quendas de fala 141 a 183, a investigadora segue a contar o tubo de ensaio ata dar por concluído o proceso de descomposición. Durante este fragmento da discusión os nenos transmiten impresións arredor do olor que desprende a mestura, e a investigadora amosa como o produto da reacción se atopa en estado sólido.

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue as quendas de fala 184 a 226. Durante este episodio a investigadora solicita aos nenos que constrúan explicacións acerca do fenómeno observado.

Nas quendas de fala 185 a 207 que se recollen no Cadro 4.26 vese como os participantes desbotan aquelas observacións para as cales non son quen de construír unha explicación (Chinn & Brewer, 1998), como o cambio de cor, centrando as súas interpretacións arredor da condensación de vapor de auga sobre as paredes do tubo de ensaio que para eles resulta un fenómeno familiar. Lembremos que o fenómeno de condensación era para eles coñecido, pois este grupo de nenos tivera a oportunidade de participar en varias actividades acerca do ciclo da auga nas que traballaron contidos relativos aos cambios de estado. Na quenda de fala 199 que se incorpora no Cadro 4.26 vese como un dos alumnos, Alberto, emprega o termo de evaporación para referirse ao cambio de estado de vapor a líquido. Parece que estes nenos teñen unha comprensión incipiente dos cambios físicos que pode experimentar a auga asociados coa transferencia de calor, pero non así os termos utilizados para identificar cada un destes cambios de estado.

Na quenda de fala 215 outra alumna, Alicia, mantén a explicación que o grupo construíra durante o episodio de observación, facendo referencia a que o azucre se transformou en Coca-Cola. Esta explicación do fenómeno pode encadrarse dentro da categoría de sintética, por incorporar unha idea macroscópica incipiente de cambio

químico segundo a cal unha substancia, neste caso o azucre, se transforma noutra sustancia diferente, o refresco.

Cadro 4.26. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo A

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
185	<i>[Investigadora]: Non pasou o que pensastes ou si?</i>	Estimula a construción de explicacións.
186	<i>[Alexandra]: Yo he ponido, “o vaso se vai a empañar”. Todo eso.</i>	Le a predición.
189	<i>[Investigadora]: Si, empañar empañouse, pero pasaron máis cousas. Entonces tedes que explicar a ver que pasou.</i>	Estimula a construción de explicacións.
199	<i>[Alberto]: Xa está, eu xa escribín ((no cuestionario)). Eu xa puxen. Profe! E xa puxen “o vaso evaporouse” ((facendo referencia a que se formou bafo)).</i>	Describe o observado.
200	<i>[Investigadora]: E por que se evaporou?</i>	Solicita unha explicación.
205	<i>[Adrián]: Quentouse e empañouse.</i>	Describe o observado.
206	<i>[Investigadora]: E por que ó quentalo tanto se empañou?</i>	Solicita esclarecemento.
207	<i>[Adrián]: Porque vaporouse as gotitas e chocaron e entón empañouse.</i>	Explicación naturalista axentiva.
214	<i>[Investigadora]: Alexandra, ti que estabas poñendo ((no cuestionario)).</i>	Solicita explicacións.
215	<i>[Alicia]: En que se converteu? Eu vou poñer en Coca-Cola e ulía a Porexpan.</i>	Explicación sintética.
216	<i>[Alexandra]: Xa está! O vaso evaporouse ((facendo referencia a que se formou bafo)).</i>	Describe o observado.

4.4.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo B (EC1)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado formula predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 30. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 31 a 129. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe

explicacións acerca do fenómeno observado, abrangue as quendas de fala 130 a 174.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 23 que se recollen no Cadro 4.27 obsérvase como case todos os nenos parecen ter claros os cambios que experimentará o azucre ao quentalo, sendo a predición maioritaria que o azucre se vai derreter.

Cadro 4.27. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Investigadora]: Eu teño azúcar e quéntoo. Que lle pasa?</i>	Solicita predicións.
2	<i>[Breixo]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
3	<i>[Brais]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
8	<i>[Berta]: ¿Azúcar sólo?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa.
9	<i>[Investigadora]: Claro.</i>	Esclarece a tarefa.
10	<i>[Brais]: Eu vou poñer que se derrite.</i>	Emite unha predición.
11	<i>[Breixo]: Yo también.</i>	Apoia a predición do compañeiro.
12	<i>[Branca]: Eu nunca quentei azúcar sólo.</i>	Refire a ausencia de referentes empíricos na vida diaria.
14	<i>[Bruno]: Que hai que hacer ahora?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa.
15	<i>[Investigadora]: Pois tes que pensar que pasaría se quentaras azúcar.</i>	Esclarece a tarefa.
16	<i>[Bruno]: Que ó mellor se derrite.</i>	Emite unha predición
17	<i>[Investigadora]: E por que se derrite?</i>	Solicita explicacións.
18	<i>[Brais]: Porque está muy caliente, muy muy quente, como unha llama.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
19	<i>[Investigadora]: Pois tedes que poñer ((nos cuestionarios)) que se derrite e o motivo, o por que.</i>	Esclarece a tarefa.
20	<i>[Breixo]: Pues mira que corta ((facendo referencia ao que escribiu no cuestionario)).</i>	Transmite impresións da lonxitude da resposta escrita.
21	<i>[Investigadora]: Claro, pero aí tes que poñer por que se derrete.</i>	Esclarece a tarefa.
22	<i>[Breixo]: Por el fuego.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
23	<i>[Branca]: Eu tamén puxen eso!</i>	Comparte a explicación do compañeiro.

Cando a investigadora pide aos nenos que expliquen a súa predición, nas quendas de fala 18 e 22 prodúcense as intervencións de Brais e Breixo para facer referencia ao calor e ao lume do queimador que se ía empregar para quentar o azucre no tubo de ensaio. Estas explicacións da predición poden clasificarse como naturalistas de tipo axentivo ao incorporar a intervención dun elemento, neste caso a calor, como causa de que o azucre se derreta.

Soamente unha participante, Branca, amosa dúbidas acerca do que lle sucederá ao azucre por mor da ausencia de referentes empíricos na súa vida diaria. Na quenda de fala 12 expresa esta falta de experiencia ao mencionar que como nunca quentou azucre só, sen engadilo a nada, non pode saber que vai suceder.

Nas últimas quendas de fala deste episodio prodúcense intervencións alleas aos obxectivos da actividade. Os nenos comparan a lonxitude das palabras que escribiron no cuestionario, así como a celeridade da escritura.

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 31 a 129. Ao longo deste episodio a investigadora desenvolve a experiencia ante os nenos, quentando o azucre contido nun tubo de ensaio cun chisqueiro de alcohol.

Ao ver o azucre, durante as primeiras quendas de fala deste episodio, os nenos dispuxéronse a falar sobre o tipo de lambetadas que máis lles gustan. Unha vez que a investigadora comeza a quentar o azucre, nas quendas de fala 49 a 59 prodúcense as primeiras observacións (ver Cadro 4.28). Os nenos ven como a mestura do tubo de ensaio vai adquirindo unha consistencia líquida, ao tempo que a cor vai tornando cara unha tonalidade amarela. Nas quendas de fala 58 e 59 vese como a primeira observación satisfai as expectativas de dous participantes, Brais e Bruno, xa que ao non existir discrepancia entre a observación e a predición non senten a necesidade de reconstruír a interpretación baseada en que o azucre se derrete.

Cadro 4.28. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
49	[Investigadora]: <i>Eu creo que xa estou empezando a ver algo. Vós non vedes nada?</i>	Dirixe a observación.
50	[Brais]: <i>Si, se está derretindo.</i>	Realiza observacións.
51	[Investigadora]: <i>Que vedes aí abaixo ((do lado do tubo de ensaio en contacto coa fonte de calor))?</i>	Dirixe a observación.
52	[Branca]: <i>Estase derretindo.</i>	Realiza observacións.
53	[Breixo]: <i>¡Sí, se está derritiendo!</i>	Realiza observacións.
54	[Investigadora]: <i>E de que color é?</i>	Dirixe a observación.
55	[Breixo]: <i>Amarillo.</i>	Realiza observacións.
56	[Brais]: <i>Amarillo.</i>	Realiza observacións.
57	[Breixo]: <i>Hai que esperar a que todo sea amarillo?</i>	Solicita esclarecemento acerca da tarefa.
58	[Brais]: <i>Acertamos.</i>	Manifesta unha correspondencia entre a predición inicial e a observación.
59	[Bruno]: <i>Acertamos todos.</i>	Manifesta unha correspondencia entre a predición inicial e a observación.

Nas quendas de fala 67 a 73 que se recollen no Cadro 4.29 obsérvase como nos participantes emerxe unha idea incipiente de transformación química pola cal unha sustancia se transforma noutra sustancia diferente. En virtude da coloración adquirida pola mestura unha vez comezado o proceso de descomposición da sacarosa, os nenos establecen unha comparativa entre o mel e os produtos intermedios da reacción. Na quenda de fala 73 obsérvase como Brais relaciona o fenómeno coa produción de mel por parte das abellas, sinalando que da mesma maneira que as abellas chuchan o néctar das flores (ao que el se refire como azucre) para logo transformalo en mel, o azucre do tubo de ensaio se estaba a transformar en mel. Esta idea de que o azucre se convirte en mel pode ser asimilada ao modelo de transmutación proposto por Andersson (1990) segundo o cal as substancias se transforman noutras substancias diferentes sen conservarse a identidade atómica. Ademais, a explicación que propón Brais para dar conta do fenómeno observado pode adscribirse á categoría de sintética, ao incorporar tanto elementos comparables ao modelo de reacción química da ciencia escolar como outras contrarias

ao coñecemento científico. O azucre transfórmase noutras substancias diferentes a consecuencia da transformación química que experimenta, pero non en mel.

Cadro 4.29. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
67	<i>[Investigadora]: Vedes como está?</i>	Dirixe a observación.
68	<i>[Brais]: Si.</i>	Realiza observacións.
69	<i>[Breixo]: Parece:: parece::</i>	Busca establecer unha comparación.
70	<i>[Branca]: Miel.</i>	Compara a mestura coa mel.
71	<i>[Berta]: Si, parece miel.</i>	Comparte a comparación da compañeira.
73	<i>[Brais]: Porque estase convertindo en miel. O azúcar está nas flores, as:: as abellas chupan o miel e fan miel. Igual que aquí, estase convertindo en miel.</i>	Explicación sintética.

Nas intervencións rexistradas das quendas de fala 73 a 94 os nenos comparten que lles gusta comer mel sempre e cando non haxa abellas ao redor, xa que teñen medo a que estes insectos os piquen. Durante este fragmento da discusión tamén realizan intervencións nas que expresan verbalmente como vai cambiando a cor da mestura co tempo.

Nas quendas de fala 95 a 99 que se recollen no Cadro 4.30 a investigadora dirixe a observación. Na quenda de fala 98 vese como Brais insiste na idea que o azucre se converteu en mel. Na quenda de fala posterior outro dos participantes, Breixo, comparte a interpretación do seu compañeiro, engadindo que máis ben semella unha mestura de mel e un refresco de laranxa. A introdución deste novo elemento, a bebida gasosa de laranxa, emerxe cando os nenos comezan a observar a formación de burbullas no seo da mestura.

Cadro 4.30. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
78	[Investigadora]: <i>Que está pasando ahora?</i>	Dirixe a observación.
79	[Breixo]: <i>¡Se está volviendo amarillo, por Dios!</i>	Realiza observacións.
80	[Investigadora]: <i>E non vedes nada máis?</i>	Dirixe a observación.
81	[Breixo]: <i>Naranja, ¿o qué? Parece Fanta ((unha coñecida marca de refresco)).</i>	Realiza observacións.
82	[Investigadora]: <i>Non vedes un montón de burbujas ahora?</i>	Dirixe a observación.
83	[Breixo]: <i>Sí, ¡parece Fanta eh!</i>	Compara a mestura cun refresco.
95	[Investigadora]: <i>Esto parecevos azúcar?</i>	Solicita esclarecemento.
96	[Varios]: <i>Non!</i>	Non pensan que a sustancia siga a ser azucre.
97	[Investigadora]: <i>Que será entonces?</i>	Solicita esclarecemento.
98	[Brais]: <i>Parece miel.</i>	Compara a mestura con mel.
99	[Breixo]: <i>Sí, parece miel, parece miel, o Fanta. Parece miel mezclada con Fanta.</i>	Compara a mestura con mel ou un refresco.

Nas quendas de fala 107 a 112 que se reflicten no Cadro 4.31 a investigadora continúa a dirixir a observación coa intención de que os nenos observen a liberación de vapor de auga⁵. Os participantes identifican claramente que se trata de vapor de auga. Lembremos que este grupo de nenos participaron nunha serie de actividades relacionadas co ciclo da auga nas que tiveran a oportunidade de observar tanto a evaporación de auga líquida como o proceso inverso, isto é, a condensación de vapor de auga.

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue as quendas de fala 130 a 174. Durante este episodio a investigadora solicita aos nenos que constrúan explicacións acerca do fenómeno observado.

⁵ Durante a descomposición térmica do azucre prodúcese o desprendemento de vapor de auga por mor da deshidratación da sacarosa.

Cadro 4.31. Fragmento da discusión [4] durante o episodio de observación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
107	<i>[Investigadora]: Que sae por aquí?</i>	Dirixe a observación.
108	<i>[Breixo]: ¡Vapor!</i>	Realiza observacións.
109	<i>[Bruno]: E que vamos facer con esta mancha negra?</i>	Solicita esclarecemento acerca da tarefa.
110	<i>[Investigadora]: E por aquí? Mirade que hai ((facendo referencia ao vapor de auga que condensou ao longo do tubo de ensaio)).</i>	Dirixe a observación.
111	<i>[Branca]: As gotitas de auga.</i>	Realiza observacións.
112	<i>[Brais]: Si, gotitas de auga.</i>	Realiza observacións.

Nas quendas de fala 130 a 137 que se recollen no Cadro 4.32 obsérvase como un dos participantes, Brais, constrúe unha explicación fundamentada en aspectos puramente sensoriais, ao sinalar que o azucre se converteu en negro porque se queimou. Esta explicación pode clasificarse como sintética, xa que se intúe unha incipiente idea de cambio químico segundo a cal unha substancia, neste caso o azucre, se transforma noutras substancias diferentes. Asemade, estes resultados concordan cos obtidos no traballo de Gabel et al. (2001) con nenos de 8 a 13 anos. Estes autores atoparon que a cor ennegrecida dos produtos resultantes da descomposición térmica do azucre, integrados fundamentalmente por carbono, tende a ser considerada como unha evidencia de que o azucre se queimou (Gabel et al., 2001)⁶. Consideramos que esta confusión entre combustión e descomposición térmica, que se aprecia incluso en nenos de curta idade, pode ter unha orixe social, debido ao uso que se fai do termo “queimar” na vida diaria. De acordo con Solomon (1988), a linguaxe científica emprega a miúdo termos tomados da linguaxe cotiá, xunto coa asociación que se fai deles, o que pode alterar a comprensión de certos conceptos científicos. Na quenda de fala 137 obsérvase como a explicación de Brais é secundada polo seu compañeiro Breixo.

⁶ Unha combustión involucra a emisión de luz e calor, mentres que nunha descomposición térmica a sustancia é sometida a unha fonte de calor externa, que é a que actúa como axente iniciador do cambio.

Cadro 4.32. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
130	<i>[Investigadora]: Pois agora tedes que explicar o que pasou.</i>	Solicita explicacións.
133	<i>[Brais]: Que se converteu en negro.</i>	Explicación sintética.
134	<i>[Investigadora]: E por que se puxo negro?</i>	Solicita esclarecemento.
135	<i>[Brais]: Porque tanto queimar, tanto queimar...</i>	Explicación sintética.
137	<i>[Breixo]: Yo también digo lo mismo que Brais.</i>	Comparte a explicación do compañeiro.

Durante o fragmento comprendido entre as quendas de fala 138 a 164, as intervencións dos nenos céntranse en pedir axudar á investigadora para escribir algunhas palabras como “queimar” que dubidan se escribirla coa letra c- ou q-.

Na quenda de fala 166 do Cadro 4.33 obsérvase como un dos participantes, Brais, ten claro que as gotas de auga se forman debido ao vapor que sae do tubo de ensaio, e na quenda de fala 174 este mesmo alumno fai referencia a que ese vapor se orixina debido a que as gotas se evaporaron coa calor. Esta explicación acerca da orixe da auga pódese clasificar como naturalista axentiva ao introducir a intervención da calor.

Cadro 4.33. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo B

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
165	<i>[Investigadora]: E despois as gotitas de onde decías que saían?</i>	Solicita explicacións.
166	<i>[Brais]: Do vapor.</i>	Relaciona a aparición de gotas de auga con vapor.
167	<i>[Investigadora]: E de onde sae ese vapor?</i>	Solicita esclarecemento.
172	<i>[Brais]: Do que calienta moito moito.</i>	Esclarece a explicación.
173	<i>[Investigadora]: Do que quenta moito?</i>	Solicita esclarecemento.
174	<i>[Brais]: Si, como calienta moito se evaporan as gotitas diminutas como:: como Narigota ((un debuxo animado sobre unha gota de auga)).</i>	Explicación naturalista axentiva.

A partir das intervencións deste alumno non queda claro se está pensando no vapor de auga como unha transmutación do azucre, ou se

considera que a auga está presente no azucre, de maneira que ao quentarse muda de estado físico.

4.4.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo C (EC1)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado emite predicións acerca do que pensa que sucederá ao quentar azucre, abrangue as quendas de fala 1 a 42. O segundo episodio, conformado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 43 a 154. O terceiro e último episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións en base ás observacións efectuadas, abrangue as quendas de fala 155 a 217.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 10 a investigadora explica aos nenos que teñen que pensar no que pode suceder cando se quenta azucre, insistindo en que se vai quentar soamente azucre, sen engadilo a ningunha outra sustancia.

Nas quendas de fala 11 a 20 que se recollen no Cadro 4.34 obsérvase a construción de predicións por parte de dous participantes, Cibrán e Celso, nun proceso colaborativo. Cando a investigadora pide aos nenos que pensen no que pode suceder ao quentar azucre, nas quendas de fala 12 e 15 prodúcense as intervencións de Cibrán para facer referencia a que o azucre se vai derreter porque se quenta, e a calor fai que as substancias se derretan. A explicación que dá este alumno da predición pódese clasificar como naturalista de tipo axentivo, ao introducir a intervención dun axente externo como a calor como causa de que o azucre se derreta. Ademais, tendo en conta o marco conceptual proposto por Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos, a predición de Cibrán resulta comparable ao modelo de modificación, xa que a substancia, neste caso o azucre, se conserva, experimentado unicamente un cambio nas propiedades físicas.

Cadro 4.34. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
11	<i>[Investigadora]: Que lle pasa ao azúcar se o quentamos, pero a el sólo sen botarllo a nada. Sen botarllo ao café nin a nada.</i>	Solicita predicións.
12	<i>[Cibrán]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
13	<i>[Investigadora]: E por que se derrite?</i>	Solicita explicacións.
14	<i>[Celso]: Vólvese auga, sólo que blanca.</i>	Emite unha predición.
15	<i>[Cibrán]: Que se derrite. Que se derrite porque cando vén o caliente se derrite.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
16	<i>[Investigadora]: Pois pon e despois imos comprobar a ver. Acabaches? Pois escribe, senón eu con eses puntitos non me acordo de que era. E por que se derrite?</i>	Solicita explicacións.
17	<i>[Carlos]: Porque se quenta.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
18	<i>[Celso]: Vólvese auga. Xa está.</i>	Emite unha predición.
19	<i>[Investigadora]: Está? E por que se volve auga?</i>	Solicita explicacións.
20	<i>[Celso]: Porque caliéntase moito. Mira que nunca o fixen e seino. Déixoo xa dándolle a volta por detrás ((o cuestionario)).</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
26	<i>[Cibrán]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
27	<i>[Celso]: Ou que se volve auga. O mesmo que Cibrán, sólo que de outra maneira. Que se derrite é o mesmo que se volve auga sólo que é outra palabra distinta.</i>	Considera comparable a súa predición e a do seu compañeiro Cibrán.

Pola súa banda, na quenda de fala 14 Celso establece como predición que o azucre se vai converter en auga só que de cor branco. Nunha primeira aproximación, esta resposta podería ser comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990) en virtude do cal unha substancia se transforma noutra diferente sen manterse a identidade a nivel atómico, neste caso o azucre transformárase en auga. A explicación que dá Celso da súa predición na quenda de fala 20 pode encadrarse na categoría de naturalista con intervención dun axente (a calor). Na quenda de fala 27 vemos como para este alumno o termo “derreter” ten o mesmo significado que converter en auga. Para este participante semella que calquera cambio de estado de sólido a líquido leva aparelado unha transmutación da sustancia en algo similar a auga líquida. Estes resultados nos que se describe o termo

derreter como a conversión en auga son similares aos atopados por Demirbaş e Ertuğrul, (2014) con nenos de preescolar.

Na quenda de fala 35 que se recolle no Cadro 4.35 obsérvase como outro dos participantes deste grupo, César, se acolle á predición do seu compañeiro Celso, facendo referencia a que o azucre se vai converter en auga. Na quenda de fala 41, Cibrán manifesta o seu desacordo coa idea de que derreter teña o mesmo significado que volverse auga, malia a insistencia de Celso por considerar comparables ambas predicións.

Cadro 4.35. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
35	<i>[César]: O azúcar vaise convertir en auga.</i>	Emite unha predición.
40	<i>[Celso]: Cibrán e máis eu tamén puxemos o mesmo.</i>	Comparte a predición do seu compañeiro Cibrán.
41	<i>[Cibrán]: Non! Porque eu poño que se derrite::</i>	Non considera comparable a súa predición coa de Celso.
42	<i>[Celso]: E eu poño que se volve auga. É o mesmo,</i>	Considera comparable a súa predición coa de Cibrán.

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 43 a 154. Durante este episodio a investigadora desenvolve a experiencia ante os nenos, quentando o azucre contido nun tubo de ensaio cun chisqueiro de alcohol.

Durante as quendas de fala 43 a 79 os nenos deixan a mesa arredor da cal estaban sentados para escribir e/ou debuxar as súas predicións do fenómeno, e sitúanse nun recuncho da aula onde a investigadora realiza a experiencia baixo a atenta mirada dos nenos. Promovidos pola curiosidade, durante estas quendas de fala os nenos fan preguntas acerca dos materiais e instrumentos que ven, e tamén aproveitan para contar algunha anécdota. Por exemplo, na quenda de fala 48 César conta como un día colleu o azucre que tiña na casa para espallalo por toda a mesa onde estaban a comer el máis a súa familia.

Unha vez iniciado o desenvolvemento da experiencia, nas quendas de fala 79 a 87 os participantes centran a súa atención nos cambios de cor que comeza a experimentar o azucre (ver Cadro 4.36).

Cadro 4.36. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
79	[César]: <i>Aí hai un amarillo.</i>	Realiza observacións.
80	[Investigadora]: <i>César e Cibrán non están vendo o que está pasando.</i>	Solicita atención por parte dos participantes.
81	[Cibrán]: <i>Si, estase poñendo doutro color::!</i>	Realiza observacións.
82	[Investigadora]: <i>Despois cando teñades que explicar non ideas saber que vistes.</i>	Solicita atención por parte dos participantes.
83	[César]: <i>Estase poñendo doutro color::!</i>	Realiza observacións.
84	[Carlos]: <i>Marrón e amarillo.</i>	Realiza observacións.
85	[Investigadora]: <i>Non vedes nada máis?</i>	Dirixe a observación.
86	[César]: <i>Estase convertendo en aceite::!</i>	Establece unha comparación entre a mestura e o aceite.
87	[Carlos]: <i>Parece Coca-Cola.</i>	Establece unha comparación entre a mestura e un refresco de cola.
88	[Investigadora]: <i>Non vedes burbullas?</i>	Dirixe a observación.
89	[Varios]: <i>Si!</i>	Confirman a observación das burbullas.
90	[Investigadora]: <i>E por que aparecerán esas burbullas?</i>	Solicita explicacións para a observación.
91	[Celso]: <i>Porque estase tostado demasiado.</i>	Explicación naturalista axentiva.
92	[Cibrán]: <i>No, se parece a zumo de naranxa solo que máis escuro.</i>	Establece unha comparación entre a mestura e un zume de laranxa.

Estes cambios de cor suxiren aos nenos que o azucre se está a transformar noutras substancias. Un dos nenos do grupo, César, indica que o azucre se está convertendo en aceite, mentres que outro neno, Carlos, sinala que o azucre semella Coca-Cola.

Ao igual que nos demais grupos deste estudo de casos (EC1), obsérvase que a percepción segue a ser un factor determinante na interpretación que os cativos fan do fenómeno, de maneira que o azucre se converte naquelas substancias coas que para eles a mestura garda unha maior similitude. Estas interpretacións, nas que se incorpora a idea de que o azucre se transforma noutras substancias coas que non garda relación a nivel atómico, poden considerarse comparables a un modelo incipiente de transmutación (Andersson, 1990).

Na quenda de fala 88 a investigadora dirixe a observación para que os nenos observen as burbullas que se están a formar no seo da mestura. Cando a investigadora pide aos nenos que expliquen por que aparecen esas burbullas, na quenda de fala 91 vese como Celso constrúe unha explicación naturalista axentiva ao sinalar como causa que a mestura se estaba a tostar demais. Este alumno incorpora na súa explicación a intervención dun axente externo, neste caso a calor.

Nas quendas de fala 102 a 107 que se recollen no Cadro 4.37 a investigadora dirixe a observación para que os nenos se fixen no vapor de auga que sae polo tubo de ensaio, así como nas gotas de auga que se van depositando sobre a superficie interior deste material de laboratorio a consecuencia da condensación.

Cadro 4.37. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
102	<i>[Investigadora]: A ver, vós non vedes por aquí nada?</i>	Dirixe a observación.
103	<i>[Carlos]: Eu si, gotitas.</i>	Realiza observacións.
104	<i>[Investigadora]: E vós?</i>	Solicita observacións.
105	<i>[César]: Si::! Gotitas por aquí::!</i>	Realiza observacións.
106	<i>[Investigadora]: E de onde veñen esas gotitas?</i>	Solicita explicacións.
107	<i>[Cibrán]: Do fogo e de aquí ((facendo referencia ao tubo de ensaio)).</i>	Relaciona a calor coa formación de pequenas gotas.

Nas quendas de fala 102 a 105 obsérvase como os nenos identifican claramente o embazamento con gotas de auga de pequeno tamaño. Como xa sucedera nos demais grupos deste estudo de casos (EC1), estas interpretacións suxiren unha incipiente visión corpuscular da materia segundo a cal o vapor de auga non se concibe como un estado da materia diferente ao da auga líquida, senón como aquel que está formado por gotas de auga de dimensións tan reducidas que non son perceptibles a través do sentido da vista. Cando na quenda de fala 106 a investigadora pregunta aos nenos acerca da procedencia do vapor de auga, obsérvase como un neno, Cibrán, sinala que as gotas proceden do lume e do interior do tubo de ensaio.

Nas quendas de fala 107 a 138 a investigadora acaba de desenvolver a experiencia ante os nenos. Durante este intervalo de

tempo, os cativos intercambian sensacións acerca do olor que se comeza desprender. Cibrán menciona que ule a queimado e incluso algúns deles, como César e Celso, especifican que cheira a galleta queimada.

Nas quendas de fala 138 a 139 do Cadro 4.38 obsérvase que un dos nenos, Celso, relaciona a formación de burbullas no seo da mestura co desprendemento de vapor de auga. Esta explicación pode considerarse como sintética, por tratarse dunha explicación incompleta que contén afirmacións coherentes coa interpretación do fenómeno desde o punto de vista da ciencia⁷.

Cadro 4.38. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo C

Quenda	Transcripción	Análise do discurso
138	<i>[Carlos]: Antes, cando estaba o fogo poñéndose un pouco alto subían as burbujas.</i>	Retoma a observación.
139	<i>[Celso]: Eu sei por que era. Porque salían gotitas. Porque estaban salindo gotitas.</i>	Explicación sintética.

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue as quendas de fala 155 a 217. Durante o último episodio deste evento, a investigadora solicita aos nenos que constrúan explicacións para o acontecido durante a observación do fenómeno.

Ao comezo deste episodio, os cativos séntanse de novo arredor da mesa para rexistrar por escrito todo o sucedido. Ademais, os nenos formulan á investigadora varias cuestións relativas ao desenvolvemento da tarefa como por exemplo, se teñen que debuxar o que pasou.

Nas quendas de fala 190 a 193 que se recollen no Cadro 4.39 obsérvase como un neno, Celso, fai referencia a que a mestura adquiriu unha tonalidade escura por mor de que o azucre se queimou. Estes resultados son comparables cos achados por Gabel et al. (2001). Estes autores observaron que un gran número de participantes (8 a 13 anos) asociaban a negrura dos produtos da descomposición térmica da

⁷ En efecto, as burbullas que se observan durante o fenómeno son do vapor de auga que se forma durante a descomposición térmica do azucre e que pasa desde a mestura cara o aire do ambiente.

sacarosa co feito de que o azucre se queimara. A explicación deste alumno pode encadrarse na categoría de sintética, pois o azucre sofre unha transformación química, pero este cambio non consiste nunha combustión senón nunha descomposición térmica.

Cadro 4.39. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
190	<i>[Investigadora]: E o azúcar porque cambiou de color? Dixestes que se ía converter en auga pero a auga é transparente.</i>	Solicita explicacións.
191	<i>[Celso]: Porque iba queimado. Íbase queimar o azúcar.</i>	Explicación sintética.
192	<i>[Investigadora]: Por eso se puxo dese color logo?</i>	Solicita esclarecemento.
193	<i>[Celso]: Si, porque o queimado sempre se pon moi oscuro.</i>	Explicación sintética.

Nas quendas de fala 203 a 214 do Cadro 4.40, Cibrán expresa que o azucre se converteu en cervexa mentres que César establece que o azucre se transformou nun refresco de cola dunha coñecida marca comercial.

Cadro 4.40. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo C

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
203	<i>[Investigadora]: Tedes que poñer:: tedes que explicar o que vistes.</i>	Solicita explicacións.
206	<i>[Celso]: Pois eu puxen o que quería. Puxen “queimouse”.</i>	Explicación sintética.
207	<i>[Carlos]: Vale, eu tamén o puxen.</i>	Comparte a explicación do seu compañeiro.
208	<i>[Celso]: Puxen que se queimou.</i>	Explicación sintética.
209	<i>[Cibrán]: Eu vou poñer que se converteu en cervexa.</i>	Explicación sintética.
210	<i>[Investigadora]: E paréceche cervexa?</i>	Solicita esclarecemento.
211	<i>[Cibrán]: Si.</i>	Mantén a explicación.
214	<i>[César]: Eu dixen que se converteu en Coca-Cola.</i>	Explicación sintética.

Como xa sucedera durante a observación do fenómeno, as explicacións dos participantes seguen a estar dominadas por aspectos puramente sensoriais como a cor da mestura ou a formación de

burbullas, de xeito que para eles o azucre se transforma naquelas substancias ou mesturas coas que garda máis semellanza. Estas explicacións poden considerarse como sintéticas, xa que se intúe unha incipiente idea de cambio químico segundo a cal unha substancia se transforma noutra substancia diferente, pero sen conservarse a identidade desde o punto de vista atómico. Tendo en conta os modelos xa descritos na literatura para a interpretación dos cambios químicos, está idea suporía unha aproximación ao modelo de transmutación proposto por Andersson (1990).

4.4.5.7. Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 1 (EC1)

Neste estudo de casos (EC1) pretendeuse describir os tipos de explicacións que grupos de estudantes do último curso do segundo ciclo da Educación Infantil (5 a 6 anos) constrúen cando intentan dar sentido a dous fenómenos cotiáns como a combustión dunha candeia e a descomposición térmica do azucre. Tamén se pretendeu coñecer en que medida estas explicacións se poden considerar indicadoras de que os nenos están en condicións de construír un modelo precursor acerca dos cambios na materia.

En relación ao fenómeno de combustión, en xeral, podemos concluír, en base aos resultados obtidos, que a maior parte dos nenos recorreron a explicacións de tipo naturalista con intervención dun axente durante as distintas fases da intervención, cumpríndose a consideración de Martí (2012) acerca das nenas e os nenos como buscadores de causas para dar sentido a fenómenos da súa contorna dado que, como sinala este autor, a causalidade é un elemento primitivo do desenvolvemento que emerxe axiña.

Durante a fase de predición, na que se pedía aos cativos que pensasen acerca do que sucedería ao tapar unha candeia cun recipiente, máis dun terzo dos participantes sinalaron que o recipiente se ía embazar. Resulta especialmente relevante que estes nenos mencionaran a aparición de auga condensada sobre o vaso nun momento da intervención anterior á observación do fenómeno. Cando a investigadora pediu aos nenos que xustificasen esta predición, seis participantes construíron explicacións naturalistas con intervención

dun axente. Tres cativos mencionaron o fume/lume como causa do embazamento, e outros tres nenos fixeron referencia a pequeniñas gotas que chocan coas paredes do recipiente. Estas respostas poden suxerir que utilizaron ideas próximas á concepción de que a auga pasa de estado vapor a líquido. Asemade, esta noción de vapor como diminutas gotas de auga que non podemos ver, xestada probablemente durante a participación do alumnado nun proxecto de ciencias sobre o ciclo da auga anterior a esta intervención na aula, pode revelar unha incipiente visión corpuscular da materia.

Outros tres participantes fixeron referencia nas súas predicións a que a candea se ía apagar. A explicación da predición construída por estes nenos tamén se encadrou na categoría de naturalista axentiva ao involucrar a introdución dun elemento alleo ao fenómeno, neste caso o frío, como causa de que a chama se puidera extinguir.

Dúas nenas mencionaron como predición que a candea se ía derreter dando tamén unha explicación naturalista axentiva para este feito ao referirse á calor como causa deste cambio. Catro nenos deron unha resposta semellante ao mencionar que o vaso se ía derreter, se ben neste caso algunhas das explicacións que construíron foron naturalistas sen intervención dun axente ao sinalar que este cambio se debía á natureza do material do que estaba feito o vaso.

Trala observación e durante a discusión acerca do fenómeno de combustión, aqueles cativos que estableceran como predición que a candea se ía apagar por mor do frío mantiveron esta interpretación ao longo de toda a intervención. Estes estudantes non sentiron a necesidade de buscar explicacións alternativas ao non existir discrepancias entre o seu prognóstico e os datos empíricos. Como sinalan Ravanis et al. (2013), o desenvolvemento de ideas e esquemas de pensamento require dun conflito cognitivo entre as observacións e o que os nenos esperan que suceda.

Outros cativos tamén construíron explicacións naturalistas de tipo axentivo para explicar a observación de que a candea se apagaba, pero neste caso incorporaron a intervención do aire. Entre os que introduciron nas súas respostas o aire como elemento explicativo, houbo algúns nenos que pensaban que a candea se apagaba porque había aire no interior do vaso, mentres que outros consideraban como

causa a entrada de aire do exterior por algunha abertura do recipiente. Esta idea de que o aire apaga os lumes é habitual entre os nenos (Martí, 2012).

Por outra banda, en resposta a unha pregunta da investigadora na que se pedía aos nenos que pensasen por que a chama non se apaga cando a candeia se deixa descuberta, dous cativos chegaron a mencionar unha falta de aire ou osíxeno, dando unha explicación para a extinción da chama que podemos cualificar como científica. Estas respostas non se esperan en nenos destas ideas, e menos cando noutros traballos (e.g. Prieto et al., 1992) se sinalan as dificultades do alumnado de primaria e secundaria para mencionar a necesidade do aire ou osíxeno nunha combustión.

Ademais, trala observación do fenómeno, houbo algúns nenos que seguiron mencionando nas súas respostas o embazamento do recipiente. Estes participantes explicaron este feito baseándose en pequenas gotas que chocaban contra as paredes do vaso, e outros mencionaron que o embazamento procedía do fume ou lume da candeia.

En relación ao fenómeno de descomposición térmica, os resultados obtidos suxiren que inicialmente os nenos tenderon a empregar explicacións de tipo naturalista con intervención dun axente para xustificar os cambios que pensaban que sucederían ao queantar azucre. Case a metade dos cativos fixeron referencia nas súas predicións que o azucre se ía derreter, mencionando a calor como a causa do cambio. Un neno fixo referencia a que o azucre se ía romper e dúas nenas sinalaron que o azucre se ía desfacer. Establecendo unha correspondencia entre as respostas dadas polos nenos e os modelos para a interpretación dos cambios químicos propostos por Andersson (1990), estas interpretacións poden considerarse comparables ao modelo de modificación. Por outra banda, dous nenos deron respostas nas que fixeron referencia a que o azucre se transformaría en auga, dando respostas comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990). En calquera destas interpretacións aparece a calor como causa que desencadea o cambio.

Despois da observación e durante a discusión arredor do fenómeno, a meirande parte dos cativos construíron explicacións de

tipo sintético ao mencionar que o azucre se transformaría noutras substancias distintas como a mel, a cervexa ou refrescos como a Coca-Cola, dando respostas comparables ao modelo de transmutación. Os resultados obtidos nesta investigación poñen de manifesto unha vez máis que as ideas e modelos que desenvolven os estudantes están dominados polo perceptible, de aí que estean baseados no uso de regras de inferencia causal aplicadas aos datos recollidos mediante un proceso de carácter sensorial (Driver et al., 1989). Os nenos consideraban que o azucre se transformaba naqueles sistemas materiais cuxa aparencia se asemellaba ao contido do tubo de ensaio.

Asemade, algúns nenos chegaron a mencionar nas súas respostas que o azucre se queimara dando unha explicación sintética acerca do fenómeno. Esta dificultade para distinguir axeitadamente entre combustión e descomposición térmica xa fora descrita noutros traballos (e.g. Gabel et al., 2001), e procede probablemente da cor negra dos restos da combustión e da asociación que se fai na linguaxe común da palabra queimado.

Por outra banda, con relación á aparición de gotas sobre o tubo de ensaio, os nenos construíron explicacións de tipo naturalista con intervención dun axente. Nas respostas dun neno mencionouse a idea de que o embazamento se debía a gotas procedentes do lume, mentres que dez cativos fixeron referencia, de maneira xenérica, a que o embazamento se debía a gotas procedentes do azucre.

Estes resultados son especialmente relevantes de cara ao ensino de ciencias na primeira infancia e tamén de cara a formación de futuros mestres, posto que diversos autores sinalan que aqueles dominios conceptuais nos que os nenos pequenos son quen de construír explicacións de tipo naturalista son especialmente axeitados para desenvolver o razoamento causal durante a primeira infancia (Christidou & Hatzinikita, 2006). Asemade, a capacidade para xerar explicacións de tipo naturalista considérase un indicador de que os nenos están en condicións de desenvolver un modelo precursor acerca das transformacións na materia que lles permita emitir predicións e explicar fenómenos (Koliopoulos et al., 2009).

4.5 ESTUDO DE CASOS 2 (EC2): ALUMNADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA

Neste apartado da tese abórdase o Estudo de Casos 2 (EC2) desenvolto no 6º curso da Educación Primaria dun Centro Público Integrado do interior de Galicia. En primeiro lugar descríbese o contexto e o perfil dos participantes. En segundo lugar, indícanse as experiencias propostas e especificase a metodoloxía adoptada para a toma e análise de datos. En último lugar, discútnense os resultados e expóñense as conclusións máis relevantes.

4.5.1 Participantes e contexto

Neste apartado descríbese o perfil dos participantes do Estudo de Casos 2 (EC2) desenvolto no mesmo centro educativo que o Estudo de Casos 1 (EC1). Recordemos que se trata dun Centro Público Integrado situado nun entorno rural do interior da Comunidade Autónoma de Galicia no que se imparten as ensinanzas de Educación Infantil, Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria.

Neste estudo de casos participaron un total de 12 estudantes, 7 rapazas e 5 rapaces, que no momento da intervención se atopaban cursando o 6º curso da Educación Primaria, que se corresponde co curso previo ao inicio da Educación Secundaria Obrigatoria en España.

A recollida de datos neste grupo de estudantes desenvolveuse ao longo do mes de abril do ano 2016, unha vez obtidos os permisos correspondentes tanto da directora do centro como dos pais, nais ou titores legais do alumnado. Por outra parte, co fin de garantir o anonimato dos participantes, os seus nomes foron substituídos por pseudónimos nos que unicamente se conservou o xénero. Os pseudónimos adoptados recóllense na Táboa 4.4 e como se pode observar, cada un deles comeza pola letra dos grupos de traballo nos que foron distribuídos para a realización das experiencias. En relación ás características persoais deste grupo de estudantes, cómpre mencionar que unha das participantes do grupo E, Elisa, contaba cunha adaptación curricular significativa (ACS) no momento da intervención. Asemade, outro dos participantes deste mesmo grupo, Eduardo, procedente dun país de América Latina, tivo unha

incorporación tardía ao sistema educativo, co desfase curricular que isto leva aparellado.

Táboa 4.4. Participantes no Estudo de Casos 2 (EC2) desenvolto no 6º curso de Educación Primaria

Grupo D	Grupo E	Grupo F
Daniel	Estrela	Fabiola
Darío	Elisa	Flor
Damián	Eva	Fátima
Diego	Eduardo	Felisa

Os contidos a impartir nesta etapa educativa no momento da intervención viñan rexidos polo disposto no *Decreto 105/2014, do 4 de setembro, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2014).

Os coñecementos e as competencias a adquirir polo alumnado desagreganse en varios ámbitos ou materias, entre as que figura a de Ciencias da Natureza. Os propósitos deste ámbito abranguen tanto a adquisición de coñecementos científicos como o desenvolvemento de pensamento crítico e de destrezas que permitan ao alumnado explicar fenómenos do seu entorno natural de forma obxectiva e rigorosa (Xunta de Galicia, 2014). Os contidos deste ámbito de coñecemento figuran organizados en cinco grandes bloques:

- 1) Iniciación á actividade científica.
- 2) O ser humano e a saúde.
- 3) Os seres vivos.
- 4) Materia e enerxía.
- 5) Tecnoloxía, aparellos e máquinas.

A partir da análise dos contidos recollidos no cuarto bloque, obsérvase que ata o terceiro curso da Educación Primaria non se contemplan contidos relativos á materia e ás súas transformacións. Neste curso faise referencia por primeira vez nesta etapa educativa a que o alumnado ha de ser quen de explicar os cambios de estado da auga en fenómenos naturais e situacións da vida diaria. Os cambios de estado non se volven abordar ata o sexto curso, onde se fai referencia a que o alumnado ha de identificar, experimentar e exemplificar algúns cambios de estado e a súa reversibilidade. Os contidos relativos

aos cambios químicos son introducidos no quinto e no sexto curso da Educación Primaria, se ben se propón a realización de experiencias sinxelas sobre reaccións químicas habituais na vida diaria (combustión, oxidación e fermentación), sen introducirse previamente a idea de que unha reacción química é aquela transformación da materia na que unha ou varias substancias iniciais se transforman noutra ou noutras substancias diferentes. Por outra banda, no currículo de Educación Primaria non se contempla a natureza corpuscular da materia nin a interpretación dos cambios na materia en virtude do modelo cinético-molecular e o modelo atómico-molecular. En relación ao primeiro bloque de contidos, a realización de actividades de indagación nas que o alumnado ha de formular preguntas, enunciar hipóteses, extraer conclusións e comunicar os resultados non se contempla ata o quinto e o sexto curso. Nos cursos iniciais desta etapa educativa soamente se alude a adquisición por parte do alumnado de autonomía durante a observación, a planificación e a execución de tarefas.

Antes da intervención, a investigadora dedicou unha sesión de 50 minutos a presentar aos estudantes os postulados fundamentais da teoría cinético-molecular. Foron presentadas as ideas de que a materia está constituída por entidades moi pequenas denominadas partículas (átomos ou moléculas) que están en continuo movemento aleatorio e entre as que existen forzas de cohesión máis ou menos intensas dependendo do estado de agregación. A presentación destas ideas acompañouse da proxección de imaxes (ver Figura 4.5) e de vídeos nas que se amosaba o movemento e a distribución das partículas nos tres estados de agregación.

Asemade, desenvolveuse unha actividade na que se pediu aos estudantes que debuxasen diferentes sistemas materiais (rocha, madeira, refresco, aire) supoñendo que contasen coa posibilidade de observalos cun microscopio de gran resolución ou cuns anteollos máxicos, de maneira que se chegase a apreciar a súa estrutura interna. Nunha segunda sesión de 50 minutos, os participantes participaron noutras dúas actividades relacionadas cos cambios de estado. Durante as mesmas, solicitouse aos estudantes que, seguindo unha estratexia POE (White & Gunstone, 1992), interpretasen a evaporación de

alcohol contido nun recipiente e a condensación de vapor de auga do ambiente sobre as paredes dunha lata de refresco que estivera almacenada nun refrixerador.

Por outra banda, segundo informou a mestra, este grupo de estudantes tiñan tratado con anterioridade os cambios de estado, pero non as transformacións químicas.

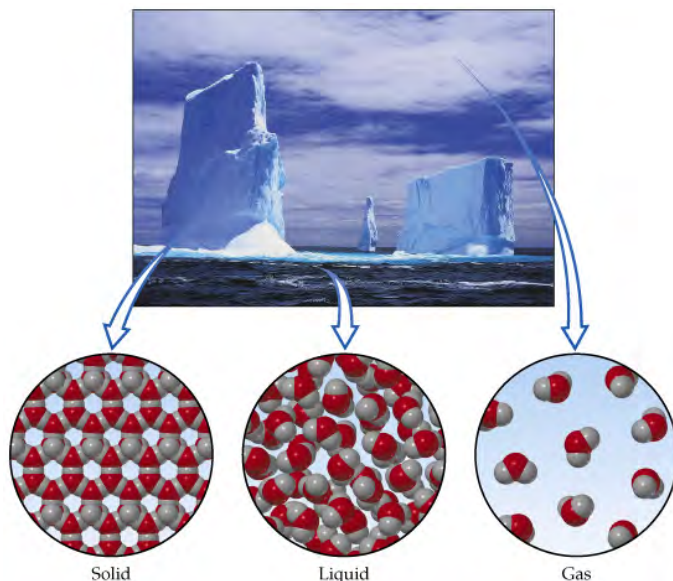


Figura 4.5. Imaxe proxectada durante a introdución aos estudantes da teoría cinético-molecular

4.5.2 Descrición das experiencias propostas

Neste estudo de casos (EC2) foron desenvoltas as mesmas experiencias que as descritas no estudo de casos con alumnado de Educación Infantil (EC1). En concreto, as actividades propostas foron a combustión dunha candeia no interior dun recipiente invertido e a descomposición térmica do azucre. Mediante ditas actividades outórgase aos participantes a posibilidade de participar en prácticas discursivas a través das cales han de intentar dar sentido a fenómenos da vida diaria. Estas actividades xa foron amplamente descritas no apartado 4.4.2 deste capítulo.

4.5.3 Toma de datos

Neste estudo de casos distínguense dúas fontes de datos, as producións escritas dos participantes e as transcripcións das conversas. Para a recollida das producións escritas empregáronse cuestionarios de preguntas abertas, os cales foron deseñados seguindo unha estratexia tipo POE (Predicir-Observar-Explicar) (White & Gunstone, 1992). Para a combustión dunha candeia no interior dun recipiente de vidro invertido as cuestións que se formularon foron as que se indican no Cadro 4.41.

Cadro 4.41. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de Educación Primaria (EC2) durante a combustión dunha candeia

Predición
Que pensas que sucederá cando unha candeia acendida se cobre cun recipiente? Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Observación
Anota o que sucedeu.
Explicación
Explica como se foses un científico o que sucedeu.

Para a descomposición térmica do azucre as cuestións foron esencialmente as mesmas, agás a primeira cuestión da fase de predición que foi mudada por outra na que se preguntaba aos participantes polo que sucede ao quentar azucre nun tubo de ensaio (ver Cadro 4.42).

Asemade, efectuáronse gravacións en audio, co gallo de rexistrar as discusións entre os participantes, e en vídeo, utilizado como un apoio para identificar inequivocamente a intervención de cada estudante, así como rexistrar as accións entre os participantes e as interaccións co material de traballo.

Por outra banda, para facilitar a recollida de datos, considerouse conveniente distribuír ao alumnado en grupos de catro integrantes. Para poder identificar claramente cada grupo de traballo, asignouse a cada un deles unha letra dende a D ata a F, e a cada un dos membros

do grupo outorgouse un pseudónimo que comezaba pola letra do grupo de traballo. Asemade, de cara a configuración dos grupos, intentouse na medida do posible que fosen heteroxéneos en canto a intereses, motivacións e rendemento académico, co fin de que o grupo reflectise a heteroxeneidade do grupo clase e a discusión fose o máis frutífera posible.

Cadro 4.42. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de Educación Primaria (EC2) durante a descomposición térmica do azucre

Predición
Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta? Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Observación
Anota o que sucedeu.
Explicación
Explica como se foses un científico o que sucedeu.

O tempo do que se dispuxo para a realización das dúas tarefas foi o correspondente a unha sesión de 50 minutos. O protocolo de actuación descríbese a continuación. En primeiro lugar, indicouse aos participantes que se ía tapar unha candea acesa cun recipiente de vidro e pediuse que escribisen no cuestionario o que crían que ía suceder, dando unha explicación para a súa predición. Informouse aos estudantes que tiñan que cubrir o cuestionario proporcionado de xeito individual, pero que podían discutir as respostas, tanto durante esta primeira fase da intervención como nas posteriores. Unha vez finalizada a fase de predición, o alumnado executou o experimento, e solicitouse que anotasen no segundo apartado do cuestionario todas as observacións. Durante a realización da experiencia facilitouse ao alumnado diverso material. Así, contaron con distintas candeas e recipientes de múltiples tamaños. Por último, pediuse aos participantes que escribisen no último apartado do cuestionario unha explicación plausible para o acontecido. Cómpre mencionar que durante o transcurso da actividade, a investigadora interveu nos grupos

formulando preguntas aos participantes co fin de estimular a discusión e dirixir a observación naqueles casos nos que foi necesario. O protocolo de actuación seguido no caso da descomposición térmica do azucre foi semellante. A única diferenza estriba en que neste caso a execución da experiencia foi desenvolta pola investigadora en presenza dos participantes, debido a que neste caso unha manipulación inadecuada dos materiais entrañaba maiores riscos.

4.5.4 Ferramenta de análise de datos

Neste estudo de casos con alumnado de Educación Primaria (EC2) adoptouse a mesma ferramenta de análise de datos que co alumnado de Educación Infantil (EC1). En primeiro lugar realizouse a transcripción literal das gravacións para intentar manter, na medida do posible, a esencia do discurso. Logo, establecéronse quendas de fala ao longo do discurso transcrito, entendéndose por quendas de fala cada unha das transicións que suceden entre un interlocutor e o seguinte dentro dunha serie de interaccións comunicativas (Hogan et al., 1999). Deste xeito, á intervención de cada participante asignóuselle unha quenda de fala. Por último, o discurso transcrito de cada unha das experiencias fragmentouse en episodios (Hogan et al., 1999; Van Dijk, 1981). Desde a perspectiva da análise do discurso, un episodio está constituído por unha secuencia coherente de intervencións dun discurso definida en termos dalgunha característica común, ben sexa en termos de idénticos participantes, momento temporal, localización, evento ou acción (Hogan et al., 1999; Van Dijk, 1981). En base á estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos, considerouse conveniente fragmentar o discurso transcrito en tres episodios segundo as quendas de fala dos participantes se correspondesen coa fase de predición, observación ou explicación. A duración de cada episodio así como as quendas de fala que integran cada episodio especificanse no apartado corresponde á descrición dos resultados.

Aquelas quendas de fala nas que se rexistrou a produción de explicacións por parte dos participantes ao longo da discusión constitúen o principal foco de interese desta investigación. A definición de explicación adoptada nesta tese concorda coa de

Christidou (2005), quen entende a explicación como un fragmento coherente dunha intervención que dá conta do comportamento dun obxecto ou unha substancia, ou do mecanismo que subxace ao fenómeno de interese. As explicacións identificadas nas quendas de fala foron analizadas tendo en conta os marcos de clasificación desenvoltoos noutros estudos previos que tiñan por obxectivo categorizar as explicacións que os cativos construían acerca de fenómenos naturais pertencentes a outros dominios conceptuais como a nutrición das plantas, o aire ou a flotación (Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006; Lorenzo et al., 2018; Saçkes et al., 2010).

De acordo con traballo previos, as explicacións dos nenos en idades temperás poden dividirse en explicacións científicas, explicacións sintéticas, explicacións naturalistas e explicacións non-naturalistas. Por explicacións sintéticas enténdense todas aquelas explicacións que conteñen algunhas afirmacións coherentes coa interpretación desde o punto de vista da ciencia, pero son incompletas ou ben incorporan outras ideas que son contrarias ao coñecemento científico actual. As explicacións naturalistas poden contemplar a intervención dun axente externo que participa no fenómeno ocasionando o cambio observado (axentivas), ou ben poden ser as propiedades intrínsecas ou as accións das substancias ou obxectos implicados no fenómeno as que desencadean o cambio (non-axentivas). As explicacións naturalistas son racionais e obxectivas, e considéranse que marcan o inicio da comprensión da causalidade física (Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006). As explicacións non-naturalistas poden ser teleolóxicas, intencionais ou metafísicas (Christidou, 2005).

Asemade, naquelas explicacións nas que se intuía a activación por parte do alumnado dun modelo mental para a interpretación das transformacións químicas, estes modelos foron analizados en base a modelos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997).

4.5.5 Resultados e discusión

Neste apartado preséntase a análise do discurso para cada un dos grupos, a través da cal se avalía o contido das explicacións en relación aos conceptos científicos, é dicir, en que medida, a partir do discurso entre pares, os participantes se aproximan aos significados aceptados actualmente pola comunidade científica. De maneira similar a outros traballos (Costa, 2015), as interaccións preséntanse en cadros con tres columnas, nas que se inclúen as quendas de fala, o diálogo transcrito e a análise das intervencións co fin de describir a intencionalidade ou o significado de cada intervención.

4.5.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo D (EC2)

A análise do discurso deste primeiro evento divídese en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos. Este evento consta de 293 quendas de fala. O primeiro episodio, no que se pide aos participantes que pensen que sucede ao cubrir unha candea acesa cun recipiente, comprende as quendas de fala 1 a 52. O segundo episodio deste evento, no que os participantes desenvolven o experimento e observan o fenómeno, comprende as quendas de fala 53 a 180. O terceiro e último episodio, durante o cal os participantes han de construír unha explicación do fenómeno, tratando de conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición, abrangue desde a quenda de fala 181 ata a 293.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 10 obsérvase a construción de predicións por parte dos estudantes (ver Cadro 4.43). Cando a investigadora pregunta aos participantes que sucederá ao cubrir unha candea cun recipiente, na quenda de fala 2 prodúcese a intervención de Daniel para sinalar que a candea se vai apagar. Esta predición concorda coa interpretación científica do fenómeno xa que o osíxeno se vai consumindo ata chegar un momento en que a concentración deste gas no interior do recipiente se sitúa nuns valores por debaixo dos cales o proceso de combustión non se pode manter. Na quenda de fala 8 outro

estudiante, Darío, explica a predición de que a candea se apaga facendo referencia a que a candea non ten respiración. A explicación da predición dada por este alumno pode clasificarse como non-naturalista intencional, xa que atribúe vida e intencións a unha entidade inanimada ao considerar que a candea respira cando arde. Na quenda de fala 9 obsérvase como Daniel rexeita a explicación da predición baseada na respiración da candea. Na quenda de fala 10 intervéñen outro alumno, Diego, para aclarar que o proceso consiste nunha combustión.

Cadro 4.43. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Investigadora]: O que tedes que facer é:: Eu teño unha vela encendida e tápoa cun recipiente. Tedes que pensar que pasará e por que.</i>	Solicita predicións.
2	<i>[Daniel]: Que se apagaría.</i>	Emite unha predición.
8	<i>[Darío]: Non ten respiración.</i>	Explicación da predición non-naturalista de tipo intencional.
9	<i>[Daniel]: Non é que non teña respiración. Non é que non teña respiración.</i>	Oponse á predición do compañeiro.
10	<i>[Diego]: É da combustión.</i>	Identifica o proceso como unha combustión.

Durante as últimas quendas de fala deste episodio producíronse intervencións pouco relevantes de cara aos obxectivos da investigación. Neste fragmento da discusión os estudantes formularon cuestións relativas a aspectos procedimentais da intervención como o cumprimentado dos cuestionarios, e tamén realizaron outras intervencións alleas ao propósito da tarefa. Por exemplo, varias intervencións estiveron relacionadas coa presenza da gravadora de audio e da cámara de vídeo na aula, e outras sobre como facer lume cunha pedra.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, obsérvase como os estudantes incluiron nas respostas escritas a mesma predición que a expresada verbalmente durante a interacción en grupo. Todos os alumnos fixeron referencia nos cuestionarios a que a candea ía apagar. Ante a pregunta na que se pedía aos participantes que xustificasen as

súas predicións, todos sinalaron a falta de osíxeno. Porén, nestas respostas non se observa que exista unha idea de interacción entre o combustible e o osíxeno do aire, senón que o osíxeno se concibe como un “alimento” ou un recurso indispensable para manter a chama acesa. Esta idea acerca do osíxeno como “alimento” para a chama é semellante ás respostas que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transmutación para a interpretación da combustión dunha candeia. Nun estudo no que participaron 150 estudantes de España e Inglaterra de 14 a 15 anos, Watson et al. (1997) consideraron respostas do tipo “a chama extinguiuse pola falta de osíxeno” como indicadoras de que os estudantes estaban a activar un modelo de transmutación.

Na Figura 4.6 inclúese a resposta escrita de Daniel durante a fase de predición, a cal resulta comparable ao modelo de transmutación.

Que pensas que sucederá cando unha candeia acendida se cobre cun recipiente?
Que se apagará.

Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Porque o lume necesita osíxeno para manterse encendido e se o tapas con un vaso acabase o osíxeno e apagase.

Figura 4.6. Resposta escrita de Daniel durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento comprende da quenda de fala 53 ata a 180. Cómpre destacar que este grupo de participantes adoptou unha postura especialmente activa durante este episodio animándose a realizar diferentes ensaios. Nas quenda de fala 56 a 61 obsérvase como os participantes cobren a candeia cun vaso de precipitados (ver Cadro 4.44).

Na quenda de fala 56 vese como un alumno, Daniel, en base ao tipo de recipiente do que dispoñen para tapar a candeia, formula unha nova predición na que fai referencia a que a candeia non se vai apagar. A predición deste alumno baséase no feito de que o vaso de precipitados posúe unha abertura a través da cal pode entrar aire. Na quenda de fala 57 outro participante, Diego, comparte a predición de Daniel. Na quenda de fala 60 vese como Diego se sente abraiado

cando a candea se apaga, xa que esta observación invalida a predición anterior.

Cadro 4.44. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
56	<i>[Daniel]: Vale, pono, pero non se vai apagar ((dirixese a Diego quen coloca o recipiente sobre a candea acesa)).</i>	Emite unha predición.
57	<i>[Diego]: ¿Cómo que no? Ah:: no porque tiene un agujero esta ((referíndose ao pico do vaso de precipitados que empregaron para cubrir a candea)). Muy mal profe::</i>	Comparte a predición do compañeiro.
58	<i>[Darío]: Buah:: chaval no se apaga.</i>	Realiza observacións.
59	<i>[Damián]: Profe, esto tiene un agujero.</i>	Sinala unha característica do recipiente que considera importante para o devir do fenómeno.
60	<i>[Diego]: Pero si le entra el aire::, pon el otro vaso ((ven que a candea se apaga)).</i>	Suxire realizar probas adicionais.
61	<i>[Daniel]: Si que entra o aire por aquí.</i>	Insiste na abertura do recipiente.

Nas quendas de fala 87 a 89 obsérvase como os participantes deciden probar a acender dúas candeas de forma simultánea coa intención de comprobar se a cor da cera ten algunha influencia sobre o tempo que tarda a candea en apagarse (ver Cadro 4.45). Na quenda de fala 88 e 89 vese como os participantes observan que se apaga en primeiro lugar a candea de cor amarela. Nas quendas de fala 91 a 112 obsérvase como os estudantes deciden repetir o ensaio para contrastar os resultados. Na quenda de fala 102 intervén Diego para facer referencia á observación de que a candea de maior tamaño se apagou antes. Os participantes non son quen de construír unha explicación para estas observacións.

Cadro 4.45. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
87	<i>[Daniel]: Espera. Vamos facer unha cousa. Encéndeas outra vez. A ver, encende estas dúas. A ver, vamos mirar se se apagan primeiro as amarillas ou as blancas</i>	Propón novos ensaios.

	<i>((referíndose á cor da cera das candeas)). Vamos mirar cal se apaga primeiro, a amarilla ou a branca, e despois mirámolo con esas dúas.</i>	
88	<i>[Darío]: Se apagan las dos a la vez:: No::, la amarilla.</i>	Realiza observacións.
89	<i>[Daniel]: Primeiro a amarilla.</i>	Realiza observacións.
90	<i>[Diego]: ¿Por qué?</i>	Solicita explicacións.
91	<i>[Darío]: Aquí todo va sobre ruedas. ¡Pon todas!</i>	Propón novos ensaíos.
92	<i>[Daniel]: No, todas non, dúas. Unha amarilla e a outra.</i>	Propón novos ensaíos.
101	<i>[Daniel]: Apágase esa primeiro.</i>	Realiza observacións.
102	<i>[Diego]: Las grandes se apagan primero. Las grandes se apagan primero.</i>	Realiza observacións.
106	<i>[Darío]: Pon esta y esta. Enciende esas dos ((unha candea branca grande e unha candea amarela de pequeno tamaño)). Yo creo que se va a apagar la grande.</i>	Propón novos ensaios e emite unha predición.
107	<i>[Daniel]: Eu a pequena.</i>	Emite unha predición.
108	<i>[Diego]: La grande se va a apagar primero.</i>	Emite unha predición.
112	<i>[Daniel]: Si, vaise apagar a grande, ten menos mecha. Obviamente ten menos mecha ((referíndose ao tamaño da chama)).</i>	Emite unha predición.

Nas quendas de fala 117 a 132 os estudantes deciden cubrir unha candea con recipientes de diferente tamaño, e contar o tempo que transcorre desde que tapan a candea ata que se apaga (ver Cadro 4.46).

Durante este fragmento do discurso, os estudantes observan que no recipiente de menor tamaño a candea se mantén acesa arredor de seis segundos, mentres que no recipiente de maior tamaño son necesarios arredor de dezasete segundos para que se apague. Na quenda de fala 132, Daniel explica a observación de que a candea se mantén por máis tempo acesa no recipiente de maior tamaño facendo referencia a que este alberga máis cantidade de osíxeno. Queda claro que para estes alumnos existe unha relación clara entre o mantemento dunha combustión e a presenza de osíxeno.

Nas quendas de fala 132 a 160 os participantes deciden cubrir de xeito simultáneo todas as candeas das que dispoñen coa intención de saber cal delas se apaga en derradeiro lugar. Porén, este ensaio non permite aos rapaces chegar a ningunha conclusión, xa que non existe

consenso acerca da orde na que se apagaron as candeas. Asemade, durante este fragmento da discusión intercambian impresións arredor do olor que comeza a haber na aula a consecuencia da combustión. Por exemplo, Damián sinala que ule a churrasco.

Cadro 4.46. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
117	<i>[Daniel]: Vou a coller esta, e contamos co reloj a ver canto tarda en apagarse. Parecevos ben? Quieto::!</i>	Propón novos ensaios.
118	<i>[Dario]: No tengo reloj.</i>	Sinala a falta de medios para desenvolver o ensaio.
121	<i>[Daniel]: Vale Diego, conta a ver. Conta cantos segundos tarda en apagarse. Listo?</i>	Dirixe a realización do ensaio.
122	<i>[Damián]: Cinco segundos.</i>	Realiza observacións.
123	<i>[Diego]: Seis. Seis segundos.</i>	Realiza observacións.
124	<i>[Daniel]: Vale, apagouse. Ahora probamos neste ((colle un recipiente de maior tamaño para cubrir a candea)). Ahora vamos a ver no grande.</i>	Realiza observacións e propón novos ensaios.
129	<i>[Dario]: Cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, diez, once::</i>	Realiza observacións.
130	<i>[Daniel]: Ostras::! Esta aguanta bastante.</i>	Realiza observacións.
131	<i>[Dario]: Catorce, quince, dieciséis:: ¡Callaos! ¡Diecisiete!</i>	Realiza observacións.
132	<i>[Daniel]: Diecisiete. Este é máis grande, ten máis oxígeno.</i>	Apreciación baseada nun coñecemento teórico.

Nas quenda de fala 161 a 165 obsérvase como dous participantes, Daniel e Diego, constrúen unha explicación para o acontecido de xeito colaborativo (ver Cadro 4.47). Na quenda de fala 161 obsérvase como Diego insiste no feito de que o recipiente usado para tapar a candea ten unha abertura pola que entra osíxeno. Isto suporía buscar unha explicación alternativa para a observación de que a candea se apaga.

Na quenda de fala 164 vese como Daniel suxire que a candea se tivo que apagar porque no interior do recipiente había menos osíxeno que fóra. Na quenda de fala 165 intervéen Diego para engadir que no interior do recipiente se estaba a consumir moito osíxeno, dando a entender a través desta resposta que o osíxeno que puidera entrar a

través da abertura non era suficiente para compensar o que se estaba a consumir e manter a reacción de combustión.

Cadro 4.47. Fragmento da discusión [4] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
161	<i>[Diego]: Pero en teoría aquí entra el oxígeno.</i>	Relaciona a abertura do recipiente coa entrada de osíxeno.
162	<i>[Daniel]: Si, entonces por que se apaga?</i>	Solicita explicacións.
163	<i>[Investigadora]: Se se apaga por que será?</i>	Solicita explicacións.
164	<i>[Daniel]: Porque ten menos oxígeno que fóra.</i>	Explicación científica.
165	<i>[Diego]: Claro, se está consumiendo muchísimo aquí.</i>	Apoia a explicación do compañeiro.

Nas posteriores quendas de fala a investigadora dirixe a observación coa intención de que os estudantes se fixen no vapor de auga que condensou sobre as paredes interiores do recipiente co que se tapa a candeia (ver Cadro 4.48). Na quendas de fala 179 a 180 obsérvase como finalmente dous rapaces, Diego e Darío, perciben que o recipiente está embazado.

Cadro 4.48. Fragmento da discusión [5] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
166	<i>[Investigadora]: E non veses nada máis no vaso? A ver, vamos encender dúas á vez no recipiente grande.</i>	Solicita observacións e propón a realización de novos ensaios.
169	<i>[Daniel]: Que o fume non se move.</i>	Realiza observacións.
170	<i>[Investigadora]: Non notades nada por dentro?</i>	Dirixe a observación.
171	<i>[Diego]: Que está caliente.</i>	Realiza observacións.
172	<i>[Darío]: El negrón ese ((a marca que fixo a chama no vaso)).</i>	Realiza observacións.
178	<i>[Investigadora]: A ver, non veses nada ahora no vaso? ((despois de realizar novamente a experiencia)).</i>	Dirixe a observación.
179	<i>[Darío]: Que está todo empañado.</i>	Realiza observacións.
180	<i>[Diego]: Sí, que está empañado. ¡Ah::!</i>	Realiza observacións.

Por outra banda, en relación aos cuestionarios, todos os participantes fixeron explícito nas súas respostas escritas que a candeia

se apaga. Asemade, dous participantes (Darío e Daniel) engadiron como observación que canto maior sexa o tamaño do recipiente máis tarda a candeia en apagarse. Darío tamén sinalou como observación que o recipiente se embaza (ver Figura 4.7) e outros dous participantes (Diego e Damián) reflectiron nos cuestionarios que as candeas de maior tamaño tardan máis en apagarse.

Anota o que sucedeu.
Que se vai apagando pouco a pouco. No recipiente grande
apágase máis tarde. O recipiente empáñase.

Figura 4.7. Resposta escrita de Darío durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento abrangue das quendas de fala 181 a 293. Durante dito episodio os estudantes han de construír unha explicación para o fenómeno tratando de conciliar as discrepancias existentes entre a observación e a predición. Na quenda de fala 181 que se recolle no Cadro 4.49, a investigadora pregunta aos estudantes a razón pola cal o recipiente se embazou. Na quenda de fala 182 ten lugar a construción dunha explicación naturalista con intervención dun axente (o aire) por parte de Daniel. Este alumno sinala que o aire produce vapor ao quentarse. Esta resposta é semellante ás descritas noutros traballos (e. g. Abdullah et al., 2016; Chang, 1999; Coştu, 2008; Coştu et al, 2012) que poñen de manifesto as dificultades dos estudantes para interpretar o fenómeno de condensación, sendo recorrentes as respostas que consideran a auga líquida como o produto dunha transmutación de sustancias como o aire. Asemade, esta explicación para a aparición de auga sobre as paredes do recipiente co que se tapa a candeia resulta comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos.

Na quenda de fala 183, outro alumno, Diego, fai referencia a unha diferenza de temperaturas entre o interior do recipiente e o exterior. A explicación que dá este alumno pódese clasificar como sintética ao tratarse dunha explicación parcial que comparte certos elementos coa

interpretación científica do fenómeno⁸. Non obstante, este participante non especifica a substancia que condensa sobre as paredes do recipiente nin sinala, de estar pensando en vapor de auga, a orixe dese vapor.

Cadro 4.49. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
181	[Investigadora]: E por que se empaña?	Solicita explicacións.
182	[Daniel]: Porque o aire quéntase e produce vapor.	Explicación naturalista con intervención dun axente.
183	[Diego]: Ya sé, ya sé. Por la diferencia de temperatura que hai de dentro a afuera.	Explicación sintética.
184	[Investigadora]: Cando algo se empaña/?	Solicita explicacións.
185	[Daniel]: E polo vapor.	Explicación sintética.
208	[Investigadora]: E ese vapor de onde sae? Ese vapor ten que salir dalgún lado.	Solicita explicación.
209	[Daniel]: Do aire.	Explicación naturalista con intervención dun axente.
210	[Diego]: Ese vapor sale de la llama. Sale de esto, de la llama.	Explicación sintética.

Na quenda de fala 185, Daniel sinala o vapor como a causa de que unha superficie, neste caso o recipiente que tapa a candeia, se cubra de bafo. Esta explicación tamén se encadra na categoría de sintética, xa que se trata dunha explicación incompleta que contén fragmentos ou afirmacións coherentes dunha posible explicación.

Na quenda de fala 208 a investigadora pregunta explicitamente acerca da procedencia do vapor de auga. Na quenda de fala 209 obsérvase como Daniel proporciona novamente unha explicación naturalista con intervención dun axente (o aire) ao mencionar que o vapor de auga vén do aire. Na quenda de fala 210 intervéen Diego para facer referencia a que o vapor vén da chama. A explicación deste alumno pódese clasificar como sintética, pois se ben o vapor de auga procede da combustión da candeia, na súa resposta non se intúe a idea de interacción química entre o osíxeno do aire e a cera da candeia para dar lugar a outras substancias, entre elas o vapor de auga.

⁸ O vapor de auga condensa debido a que a superficie do recipiente se atopa a unha temperatura máis baixa que a temperatura de saturación para a presión á que está o vapor.

Na quenda de fala 221 que se recolle no Cadro 4.50 a investigadora pregunta aos participantes sobre o combustible nunha candea. Na quenda de fala 223 obsérvase como un alumno, Darío, considera que o único que arde durante a combustión dunha candea é a mecha, mentres que a cera simplemente se quenta. Na quenda de fala 224 vese como esta interpretación é compartida por Diego, quen sinala que a cera se derrete. Estas respostas son semellantes ás recollidas noutros traballos (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997) en onde se evidencian as dificultades dos estudantes para identificar a cera da candea como combustible. As explicacións destes alumnos acerca dos cambios que experimenta a cera poden clasificarse como naturalistas con intervención dun axente (a calor). Asemade, estas explicacións son comparables ao modelo de modificación de Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos segundo o cal as substancias (a cera) seguen sendo as mesmas, mudando unicamente as súas propiedades físicas.

Cadro 4.50. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
221	<i>[Investigadora]: Arde solo eso ((a mecha)) ou tamén arderá a cera?</i>	Solicita explicacións.
222	<i>[Daniel]: Tamén arde a cera.</i>	Identifica adecuadamente o combustible nunha candea.
223	<i>[Darío]: No, la cera no arde, se calienta.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
224	<i>[Diego]: Se derrite.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
228	<i>[Darío]: A cera evapórase.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
229	<i>[Daniel]: A cera primeiro co calor derrítese e despois evapórase co calor que queda dentro do vaso.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Por outra banda, na quenda de fala 229 obsérvase como Daniel considera que a cera sofre dous cambios de estado, derreténdose en primeiro lugar para despois evaporarse. Esta explicación tamén se pode clasificar como naturalista con intervención dun axente, neste caso a calor.

Durante as quendas de fala 230 a 279 os participantes acenderon de novos as candeas. Ao realizar a experiencia, caeu cera sobre o pupitre dalgún dos alumnos, de xeito que gran parte das intervencións que tiveron lugar estaban encamiñadas a buscar a forma máis axeitada de retirar a cera.

Na quenda de fala 280 a investigadora pregunta aos participantes polo papel que xoga o osíxeno durante o proceso de combustión (ver Cadro 4.51). No seguinte fragmento do discurso semella que un alumno, Daniel, interpreta o fenómeno de combustión como unha transmutación de osíxeno en vapor de auga.

Cadro 4.51. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
280	<i>[Investigadora]: E que lle pasa ó oxígeno?</i>	Solicita explicación.
281	<i>[Daniel]: Que se queima. Que se consume.</i>	Explicación científica.
282	<i>[Investigadora]: E que lle pasa despois?</i>	Solicita explicación.
283	<i>[Daniel]: Que se volve vapor.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, cómpre mencionar que todos os participantes reflectiron nas súas respostas escritas que as candeas se apagan ao cubrilas co recipiente pola falta de osíxeno.

Asemade, tres participantes explican as razóns polas que o recipiente se embaza. Dous estudantes, Daniel e Darío, interpretan que o embazamento do recipiente se debe á cera (ver Figura 4.8). A partir das súas respostas intúese que estes participantes consideran que a cera sofre varios cambios de estado consecutivos, de maneira que primeiro se derrete, e logo evapórase para finalmente condensar sobre as paredes do recipiente. Outro alumno, Diego, reflicte a mesma idea que a expresada durante a interacción grupal, facendo referencia a que se forma bafo debido á diferenza de temperaturas.

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
 Apagouse por falta de osíxeno. Empañase porque a cera
 convertese en líquido e despois evapórase.

Figura 4.8. Resposta escrita de Daniel durante a fase de explicación

4.5.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo E (EC2)

A análise do discurso deste primeiro evento divídese en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos. Este evento consta de 216 quendas de fala. O primeiro episodio, no que se pide aos participantes que formulen unha predición acerca do que lle sucede a unha candea acesa ao cubrila cun recipiente de vidro, comprende as quendas de fala 1 a 26. O segundo episodio deste evento, no que os participantes desenvolven o experimento e observan o fenómeno, comprende as quendas de fala 27 a 91. O terceiro e último episodio, durante o cal os participantes han de construír unha explicación do fenómeno, tratando de conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición, abrangue desde a quenda de fala 92 ata a 216.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 26 que se recollen no Cadro 4.52, cando se pide aos participantes que pensen que sucederá ao cubrir unha candea acendida cun recipiente, obsérvase que existe unanimidade entre os estudantes ao compartir todos os membros do grupo a predición de que a candea se vai apagar porque vai quedar sen osíxeno. Dado que non se produce confrontación de ideas durante esta primeira fase da experiencia, a discusión que se establece no seo de grupo é mínima. A explicación da predición compartida polos catro membros deste grupo encádrase na categoría de científica ao concordar coa interpretación do fenómeno desde o punto de vista da ciencia⁹.

⁹A candea apágase debido a que durante a combustión se consume osíxeno, de maneira que chega un momento en que a concentración deste gas no interior do recipiente acada uns valores por debaixo dos cales non é posible que a reacción química continúe.

Cadro 4.52. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
5	[Investigadora]: (...) Primeiro tedes que pensar que pasaría se unha vela encendida a tapamos cun recipiente, e por que.	Solicita predicións e unha explicación para as predicións.
6	[Eduardo]: Que se apaga.	Emite unha predición.
7	[Investigadora]: Pois a ver. Falade entre vós.	Intenta estimular a discusión no seo do grupo.
8	[Eduardo]: Porque se acaba el oxígeno.	Explicación científica da predición.
9	[Eva]: Non hai que poñer fecha. Que pensas que sucederá::? ((lendo a primeira pregunta do cuestionario)).	Dá indicacións sobre a tarefa e le a primeira pregunta do cuestionario.
10	[Estrela]: O que? Que se apaga.	Emite unha predición.
11	[Eduardo]: ¿Qué es una candea?	Solicita esclarecemento da tarefa.
12	[Estrela]: É unha vela.	Aclara a tarefa.
13	[Eva]: Por que pensas? O sea, porque queda sin osíxeno.	Explicación científica da predición.
14	[Eduardo]: Porque se queda sin oxígeno.	Explicación científica da predición.

As últimas quendas de fala deste episodio constitúen intervencións pouco relevantes de cara aos obxectivos da investigación. Durante este fragmento da discusión, os estudantes conversan sobre aspectos de tipo procedimental relacionados co cumprimentado dos cuestionarios, xa que algúns xa incluían na predición unha posible xustificación para o que pensaban que ía suceder.

No cuestionario, os participantes expresaron as mesmas ideas que as manifestadas durante a discusión en grupo. A modo de exemplo, inclúese a resposta escrita de Elisa durante a fase de predición (ver Figura 4.9):

Que pensas que sucederá cando unha candea acendida se cobre cun recipiente?
Que se apaga.
Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Que se queda sin osigeno.

Figura 4.9. Resposta escrita de Elisa durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento, no que os participantes desenvolven o experimento e observan o que sucede durante o transcurso do fenómeno, abrangue das quendas de fala 27 a 91. Nas quendas de fala 38 a 42 obsérvase como os participantes se dispoñen a acender a candea para despois tapala co recipiente (ver Cadro 4.53). Durante esta primeira execución da experiencia, os participantes soamente se fixan en que a candea se apaga. Como esta observación concorda coa predición inicial, os participantes non senten a necesidade de repetir a experiencia ou facer diferentes tipos de ensaios.

Cadro 4.53. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
38	<i>[Eva]: Veña, déixame oh:: E agora que? Non a hai que meter no vaso? Non a hai que meter no vaso?</i>	Solicita esclarecemento do desenvolvemento da tarefa.
39	<i>[Estrela]: Así non se vos vai encender.</i>	Dirixe a experiencia.
40	<i>[Eva]: Non a hai que meter no vaso? Pona de lado, así.</i>	Dirixe a experiencia.
41	<i>[Eduardo]: Tranquilas, juntádlas.</i>	Dirixe a experiencia.
42	<i>[Eva]: Si eh, apagouse.</i>	Realiza observacións.

Ante a pasividade que manifesta o grupo no que a implicación na tarefa se refire, na quenda de fala 74 do Cadro 4.54 a investigadora decide intervir para informar aos participantes de que dispoñen de recipientes de distinto tamaño, instándooos a realizar máis ensaios.

Cadro 4.54. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
74	<i>[Investigadora]: Vouvos deixar este vaso por se queredes probar con este, para que vexades se é distinto ou non.</i>	Propón realizar ensaios adicionais.
75	<i>[Eva]: E o mechero? Isto é como cando estas no teu cumpleaños e:: cumpleaños:: ((cantando)) e cheiran as velas. Non te acordas cando cheiran as velas?</i>	Solicita material para o desenvolvemento da tarefa.
76	<i>[Investigadora]: Non tedes mechero?</i>	Solicita información acerca do material dispoñible.

77	[Eva]: <i>Que o tiña Fátima ((unha participante doutro grupo)). Fátima ten mechero.</i>	Signala onde está o material que precisa.
82	[Eva]: <i>Non a soples. Y se apagó.</i>	Realiza a observación.
83	[Eduardo]: <i>Es más rápido.</i>	Realiza a observación.

Tras esta intervención da investigadora na que anima aos estudantes a realizar probas adicionais, os participantes deciden cubrir a candea cun recipiente de menor volume que o utilizado con anterioridade. Na quenda de fala 83, Eduardo observa que a candea se apaga antes no recipiente máis pequeno.

Explicación

O terceiro episodio deste evento, no que os participantes han de construír unha explicación para o observado durante o fenómeno, esténdese das quendas de fala 92 a 216.

Nas quendas de fala 102 a 121 a investigadora pregunta aos estudantes polas observacións que realizaron durante o transcurso do fenómeno e solicita unha posible explicación (ver Cadro 4.55). Eduardo é o primeiro membro do grupo en intervir sinalando na quenda de fala 103 que a candea se apaga. Na quenda de fala 104, Estrela engade que canto maior sexa o tamaño do recipiente empregado para cubrir a candea maior é o tempo transcorrido ata que se apaga. Cando a investigadora pide aos estudantes que expliquen porque sucede iso, na quenda de fala 107 Eduardo menciona que se queda sen osíxeno. Esta explicación pode clasificarse como científica, dado que concorda coa interpretación do fenómeno desde o punto de vista da ciencia.

As intervencións producidas ata o momento suxiren que todos os participantes parecen ter claro que a candea se apaga debido a que o osíxeno é insuficiente, e que nun recipiente de maior tamaño a candea tarda máis en apagarse porque contén un maior volume de osíxeno. Non obstante, cómpre aclarar que nesta primeira aproximación ao fenómeno parece que os estudantes non contemplan a idea de interacción química.

Nas quendas de fala 111 a 121 a investigadora segue centrando a discusión arredor das observacións coa intención de coñecer se os estudantes observaran a condensación de vapor de auga sobre as

paredes do recipiente empregado para cubrir a candeia. Durante as primeiras interaccións deste fragmento do discurso, ningún dos participantes fai referencia á condensación. Na quenda de fala 112 Eva suxire que a cera se derrete, e na quenda de fala 115 Antonio menciona a emisión de luz e calor.

Cadro 4.55. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
102	[Investigadora]: A ver, vós que vistes, que observastes.	Solicita observacións.
103	[Eduardo]: Que se apaga.	Menciona a observación.
104	[Estrela]: Que nun vaso grande tarda máis en apagarse e nun vaso pequeno tarda menos.	Menciona a observación.
105	[Elisa]: Que se apagou.	Menciona a observación.
106	[Investigadora]: E por que pasa eso?	Solicita explicacións.
107	[Eduardo]: Porque se queda sin oxígeno.	Explicación científica.
108	[Investigadora]: E por que se apaga antes no máis pequeno ((referíndose ao recipiente empregado para cubrir a candeia))?	Solicita explicacións.
109	[Eva]: Porque ten menos oxígeno.	Explicación científica.
110	[Eduardo]: Porque el grande coge máis oxígeno y el pequeno coge menos.	Explicación científica.
111	[Investigadora]: E non observates nada máis?	Solicita observacións.
112	[Eva]: Que cando a encendes cae a cera.	Menciona a observación.
113	[Eduardo]: Y te da calor.	Menciona a observación.
114	[Investigadora] Vale, e aparte de eso?	Solicita observacións.
115	[Eduardo]: Da luz y calor.	Menciona a observación.
120	[Investigadora]: Vale, e no vaso non observastes nada?	Solicita observacións.
121	[Eduardo]: Sí:: que se empaña.	Menciona a observación.

Na quenda de fala 120 a investigadora pregunta aos participantes de maneira explícita se durante o transcurso do fenómeno realizaron

algunha observación relacionada co recipiente que cobre a candeia. Na quenda de fala 121 Eduardo recoñece por primeira vez que observou como as paredes do recipiente se embazaban. De acordo con Chinn e Brewer (1998), a postura adoptada por este estudante ante a interpretación do fenómeno consistiu en avaliar as probas de xeito parcial, desconsiderando aquelas observacións non tidas en conta na predición inicial.

Desde a quenda de fala 122 a 172 producíronse intervencións pouco relevantes de cara ao obxectivo da investigación, xa que os nenos dedicaron a meirande parte do tempo a xogar coa gravadora simulando entrevistas de radio.

Na quenda de fala 172 do Cadro 4.56 a investigadora pregunta aos estudantes acerca da causa da condensación. Na quenda de fala 173 Eva responde que o recipiente se embaza por mor da calor. Non queda claro se esta alumna posúe a idea alternativa de que se precisa aporte de enerxía en forma de calor para que teña lugar un cambio de estado de vapor a líquido, ou ben considera que a calor se transmuta en auga líquida. En calquera caso, podemos considerar a explicación desta alumna como naturalista con intervención dun axente (a calor). Esta explicación está afastada da interpretación científica do fenómeno¹⁰.

Na quenda de fala 174, outra alumna, Estrela, menciona que se produce condensación pola humidade. A explicación desta alumna pódese clasificar como naturalista con intervención dun axente ao introducir a humidade como causa do embazamento. Na quenda de fala 177 engade que esta humidade pode proceder da candeia. Esta alumna dá a entender que a auga que aparece xa estaba presente como tal na candeia¹¹.

Baseándose en previas experiencias na vida diaria, na quenda de fala 178 intervén Eva para establecer unha asociación entre o vapor de

¹⁰ A condensación de vapor prodúcese sobre unha superficie cando a temperatura da mesma é inferior á temperatura de saturación para a presión á que se atopa o vapor.

¹¹ Durante a combustión dunha candeia ten lugar a ruptura de enlaces químicos entre os átomos de C, O e H das moléculas dos reactivos (cera e osíxeno) e estes átomos posteriormente reorganízanse para formar as moléculas de auga e as moléculas de dióxido de carbono.

auga que se desprende durante o fenómeno, e o vapor de auga que se libera mentres se está a cocinar.

Cadro 4.56. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
172	<i>[Investigadora]: Por que credes que se empaña?</i>	Solicita explicación.
173	<i>[Eva]: Porque dá calor.</i>	Explicación naturalista axentiva.
174	<i>[Estrela]: Pola humedade.</i>	Explicación naturalista axentiva.
175	<i>[Investigadora]: A humedade de que?</i>	Solicita esclarecemento.
176	<i>[Eva]: Do aire.</i>	Esclarece a súa explicación.
177	<i>[Estrela]: Ou da vela.</i>	Establece unha alternativa á explicación da compañeira.
178	<i>[Eva]: Eso é:: cando estás facendo a comida tamén pasa eso.</i>	Fai referencia a un coñecemento cotián.
180	<i>[Eduardo]: No sé:: por el calor, que como no pode salirse se empaña.</i>	Explicación naturalista axentiva.
181	<i>[Eva]: Claro, eso pasoume a min o outro día facendo na comida.</i>	Respaldo á explicación do seu compañeiro con coñecemento cotián.
182	<i>[Investigadora]: Pero a ver, cando algo se empaña que é o que ten por encima?</i>	Solicita explicacións.
183	<i>[Eduardo]: Vapor.</i>	Identifica a substancia que condensa sobre o recipiente.
184	<i>[Investigadora]: Vapor de::? Vapor de que?</i>	Solicita esclarecemento.
185	<i>[Eduardo]: Del calor.</i>	Explicación naturalista axentiva.
187	<i>[Investigadora]: Pero o vapor é o estado dunha substancia.</i>	Realiza aclaracións.
189	<i>[Estrela]: De auga.</i>	Relaciona o vapor coa auga.
192	<i>[Investigadora]: (...) E de onde sae esa auga?</i>	Solicita explicacións.
193	<i>[Eva]: Da vela. Da cera da vela.</i>	Explicación sintética.
194	<i>[Elisa]: Porque a vela ten calor, e entónces ó salir oxígeno queda vapor de oxígeno.</i>	Explicación non-naturalista intencional.

Na quenda de fala 180, un alumno, Eduardo, suxire que a condensación pode ser debida á calor que ao non poder transferirse ao exterior embaza as paredes do recipiente que cobre a candeia. Esta explicación acerca da condensación encádrase na categoría de naturalista con intervención dun axente (a calor). Esta concepción

alternativa pola que se concibe a transmutación de enerxía en materia, neste caso de calor en auga, trátase dunha idea amplamente descrita na literatura (e.g. Cañada et al., 2013; Kind & Kind, 2011; Méndez, 2013; Prieto et al., 1992; Sesto & García-Rodeja, 2017). Na quenda de fala 181 intervén Eva para ofrecer respaldo á explicación do seu compañeiro Eduardo. Esta situación de interacción entre dous suxeitos na que un deles expresa un modelo ou unha idea determinada mentres que o segundo ofrece argumentos a favor ou en contra desa idea ou modelo co fin de sustentalo ou invalidalo correspóndese co que Baker (2009) denomina conflito simple de opinións interpersonal. Na quenda de fala 185 obsérvase como Eduardo segue sostendo a idea de que a calor se transmutou en auga.

Na quenda de fala 194 obsérvase como unha alumna, Elisa, constrúe unha explicación non-naturalista intencional ao atribuír vida e intencións a un ente inanimado como a candeia. Na súa intervención, esta alumna fai referencia a que a candeia ten calor, e isto fai que o osíxeno saia e condense sobre as paredes do recipiente. Obsérvase que esta alumna, ademais de atribuír carácter animado á candeia, descoñece a composición da auga ao mencionar que a substancia que condensou é osíxeno.

Durante as últimas intervencións deste episodio (ver Cadro 4.57) a investigadora pregunta aos estudantes polo material combustible nunha candeia. Na quenda de fala 203, unha alumna, Elisa, pon de manifesto a idea de que o único que arde é a mecha. Esta resposta é semellante ás recollidas noutros traballos (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997) nos que se evidencian as dificultades dos estudantes para identificar a cera da candeia como combustible. En cambio, nas quendas de fala 205 e 206 obsérvase como outros participantes parecen ter claro que se queima principalmente a cera.

Na quenda de fala 208, despois dunha pregunta da investigadora na que solicita aos estudantes novamente a causa de que a candeia se apague, un alumno, Eduardo, indica que a chama se extingue por mor de que non entra osíxeno, ao tempo que establece unha comparativa entre a candeia e o osíxeno que precisa unha persoa para poder respirar. Malia que este alumno sinala a ausencia de osíxeno como a

causa da extinción da chama, nesta resposta non se evidencia a idea de interacción química. Este alumno interpreta a presenza de osíxeno como necesaria para manter a chama acesa, pero en ningún momento fixo referencia á interacción química do combustible co osíxeno do aire. Esta resposta na que se evidencia que o osíxeno constitúe un recurso indispensable ou un “alimento” para a chama é semellante ás que Watson et al. (1997) inclúen no modelo de transmutación para a interpretación dos cambios químicos.

Cadro 4.57. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
203	<i>[Elisa]: Esto de aquí arriba ((referíndose á mecha)).</i>	Identifica a mecha como combustible nunha candea.
204	<i>[Investigadora]: Solo eso?</i>	Solicita esclarecemento.
205	<i>[Eva]: Máis a cera.</i>	Identifica a cera como combustible nunha candea.
206	<i>[Eduardo]: No, más la cera.</i>	Identifica a cera como combustible nunha candea.
207	<i>[Investigadora]: E despois, por que cando a tapabamos cun recipiente se apagaba? Por que será eso?</i>	Solicita explicacións.
208	<i>[Eduardo]: Porque no entra oxígeno. Es como si yo me metiera en la ducha:: y sabes:: ((referíndose ao feito de que de meterse en auga non podería respirar pola falta de osíxeno)). Me muero.</i>	Explicación sintética.

Por outra banda, os datos recollidos a través dos cuestionarios indican que os participantes deste grupo non distinguiron de xeito adecuado a observación da explicación. Na última pregunta do cuestionario na que se pedía aos estudantes que proporcionasen unha explicación para o sucedido, todos eles se limitaron a describir o observado. A modo de exemplo, inclúese a resposta escrita de Eva (ver Figura 4.10):

Anota o que sucedeu.

Que cae a cera e cando pos o vaso pouco a pouco vaise apagando.

Explica como se foses un científico o que sucedeu.

Porque o vaso de maior tamaño tarda máis en apagarse e con un de menor tamaño tarda menos en apagarse.

Figura 4.10. Resposta escrita de Eva durante a fase de observación e explicación

Ademais, unha participante, Estrela, indicou no cuestionario que se produciu condensación sobre o vaso por mor de que a candeia queima osíxeno e se convirte en vapor (ver Figura 4.11). Malia que esta alumna non fixo referencia expresa ao vapor de auga na súa resposta escrita, contrastando os datos do cuestionario cos procedentes da discusión, semella que esta alumna si reconece que se trata de vapor de auga. Na resposta escrita desta alumna intúese unha idea incipiente de reacción química segundo a cal o osíxeno consumido pola combustión da candeia se transmuta en auga. Esta explicación é comparable ao modelo de transmutación proposto por Andersson (1990), segundo o cal as substancias se transforman noutras substancias diferentes, sen conservarse a nivel microscópico a identidade atómica.

Anota o que sucedeu.

Que con un vaso de menor tamaño a vela apagase e si o levantas volvease a encender e con un vaso de maior tamaño tarda menos en apagarse. O vaso ten vapor porque a vela queima o osíxeno e convirtese en vapor.

Explica como se foses un científico o que sucedeu.

Con un vaso de maior tamaño tarda máis en apagarse e con un vaso de menor tamaño tarda menos tempo.

Figura 4.11. Resposta escrita de Estrela durante a fase de observación e explicación

4.5.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo F (EC2)

A análise do discurso deste primeiro evento divídese en tres episodios segundo a estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos. A duración deste evento comprende 159 quendas de fala. O primeiro episodio, no que se pide ás estudantes que emitan unha predición acerca do que lle sucede a unha candea acesa ao cubrila cun recipiente, comprende as quendas de fala 1 a 15. O segundo episodio deste evento, no que as participantes desenvolven o experimento e observan o fenómeno, comprende as quendas de fala 16 a 73. O terceiro e último episodio, durante o cal as estudantes han de construír unha explicación do fenómeno, tratando de conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición, abrangue da quenda de fala 74 ata a 159.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 15 obsérvase que existe consenso entre as predicións das participantes deste grupo ao mencionar todas elas que ao cubrir unha candea acesa cun recipiente se apaga (ver Cadro 4.58).

Cadro 4.58. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
2	[Flor]: <i>Que se apaga.</i>	Emite unha predición.
3	[Felisa]: <i>Porque queda sin aire.</i>	Explicación científica da predición.
4	[Flor]: <i>Porque non ten oxígeno.</i>	Explicación científica da predición.
5	[Felisa]: <i>Claro, é que non ten aire.</i>	Explicación científica da predición.
6	[Fabiola]: <i>Xa está, e agora?</i>	Solicita información acerca da tarefa
7	[Felisa]: <i>Imos poñer todas o mesmo.</i>	Fai fincapé na coincidencia de predicións.
8	[Fátima]: <i>Bueno. É que sabemos que se apaga.</i>	Expresa seguridade sobre a predición.

Nas quendas de fala 3 a 5, dúas alumnas, Flor e Felisa, sinalan como causa de que a candea se vai apagar o esgotamento de osíxeno ou de aire. Malia que estas primeiras intervencións non poñen en

evidencia a idea de interacción química entre o combustible e o osíxeno do aire, as explicacións da predición que dan estas alumnas poden clasificarse como científicas ao estar de acordo coa interpretación que dá a ciencia ao fenómeno.

Este consenso durante a discusión neste primeiro episodio tamén se reflectiu nas respostas escritas do cuestionario, facendo referencia todas elas á ausencia de osíxeno. A modo de exemplo, inclúese a resposta escrita de Fátima (ver Figura 4.12):

Que pensas que sucederá cando unha candea acendida se cobre cun recipiente?
Que se apaga.

Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Que se queda sin osíxeno.

Figura 4.12. Resposta escrita de Fátima durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento, no que as estudantes desenvolven a experiencia e observan o que acontece ao tapar unha candea acesa cun recipiente, comprende as quendas de fala 16 a 73. Das quendas de fala 28 ata a 32 as participantes fan referencia a que a candea se apaga e que o recipiente co que cubriron a candea se quenta (Cadro 4.59). Na quenda de fala 36, tras unha intervención da investigadora na que pide ás estudantes que describan as súas observacións, unha alumna, Felisa, engade que o recipiente se embaza.

Cadro 4.59. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
28	[Flor]: Vale, xa se apagou, xa sabemos.	Realiza observacións.
29	[Felisa]: Pona neste.	Suxire realizar un novo ensaio.
30	[Fátima]: Toca o couso ((o recipiente)) por abaixo.	Dirixe a observación.
31	[Fabiola]: Está quente.	Realiza observacións.
32	[Flor]: E ponse quente.	Realiza observacións.
33	[Felisa]: Poñemos as observacións?	Dirixe o

		desenvolvemento da tarefa.
34	<i>[Fátima]: Observamos que a pouco máis me dá un chusco porque pensaba que iba estoupar o vaso.</i>	Transmite as súas impresións da tarefa.
35	<i>[Investigadora]: Bueno, e que máis vedes?</i>	Solicita observacións.
36	<i>[Felisa]: Pois que se empañaba.</i>	Retoma as observacións.

Nas quendas de fala 47 a 53 obsérvase como as participantes deciden probar a introducir a candeia nun recipiente de maior tamaño (ver Cadro 4.60). Na quenda de fala 52, unha alumna, Flor, chega a suxerir nunha primeira instancia que nun recipiente de maior tamaño a candeia non se apagaría. Na quenda de fala 53, outra participante, Fátima, emite unha predición alternativa, sinalando que si se apaga pero que precisará de máis tempo.

Cadro 4.60. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
47	<i>[Fátima]: E se o facemos no grande con esta pequeniña chega?</i>	Suxire realizar un ensaio.
52	<i>[Flor]: No, non creo que sea tan grande como para chegar hasta aquí. Ademais non se apagha. Bueno:: apagarase tamén.</i>	Emite unha predición.
53	<i>[Fátima]: Si, si que se apaga pero lévalle un pouco.</i>	Oponse á idea que manifesta inicialmente a compañeira.

Polo que respecta ás observacións que as participantes deste grupo recolleron no cuestionario, cómpre mencionar que todas elas fixeron referencia a que a candeia se apaga, a que se forma bafo sobre as paredes do recipiente que cobre a candeia, e que cando a chama toca o vaso se ennegrece. A modo de exemplo, recóllese a resposta escrita de Flor (ver Figura 4.13):

Anota o que sucede.

Eu observei que se apagaba pero aparte de eso que o vaso se empañaba e tiña manchas como se estivera queimado.

Figura 4.13. Resposta escrita de Flor durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento, no que as participantes han de construír unha explicación acerca do fenómeno, abrangue da quenda de fala 74 ata a 159. Durante as quendas de fala 81 a 108 ten lugar a elaboración dunha explicación acerca do embazamento que se observa sobre as paredes do recipiente (ver Cadro 4.61). Dita explicación é producida de xeito colaborativo por todas as integrantes do grupo. Na quenda de fala 84, unha alumna, Flor, suxire que o recipiente se puido cubrir de bafo por mor do fume. Esta explicación encádrase na categoría de naturalista con intervención dun axente (o fume). Na quenda de fala 85 obsérvase como outra alumna, Fátima, considera plausible a explicación dada pola súa compañeira.

Na quenda de fala 86 intervén Felisa introducindo unha idea alternativa á expresada polas súas compañeiras, ao mencionar como causa do embazamento que a candeia se estaba a queimar. A explicación dada por esta participante pode clasificarse como científica ao tratarse dunha interpretación consistente coa visión do fenómeno desde o punto de vista da ciencia¹².

Na quenda de fala 87, outra alumna, Fabiola, establece unha comparativa entre a condensación que se produce no recipiente que tapa a candeia, e o vapor de auga que sae das populares barreñas de cobre onde se cociña o polbo nas feiras de Galicia. O vapor de auga que se desprende durante a combustión dunha candeia constitúe un dos produtos dunha transformación química. Sen embargo, o vapor de auga que se desprende nas barreñas de cobre, ao que esta alumna se refire como fume, procede dun cambio físico ao ser o resultado da vaporización da auga.

Na quenda de fala 92 intervén de novo Fabiola para propoñer unha explicación semellante á de Flor, na que suxire que a condensación sobre o recipiente se debe a que a candeia bota fume ao apagarse. Na quenda de fala 93 obsérvase como Fátima introduce unha proba que invalida a explicación da compañeira, ao sinalar que a candeia xa botaba fume antes de chegar a apagarse. Por conseguinte,

¹² En efecto, o vapor de auga procede da combustión da candeia, xa que constitúe un dos produtos da reacción química entre a parafina ou a cera da candeia e o osíxeno do aire.

na queda de fala 94 vese como Fabiola reformula a súa explicación para ter en conta a proba introducida pola súa compañeira, sinalando que bota fume a medida que a chama vai esmorecendo. Esta explicación satisfai ao grupo e a discusión posterior xira arredor da mesma. Na quenda de fala 101 intervén Fabiola para establecer unha comparación entre a condensación que se produce sobre o recipiente, e o vapor de auga que acompaña aos gases que espiramos e condensa sobre o vidro dun vaso se estamos a beber.

Cadro 4.61. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
81	<i>[Fabiola]: Explicación. A ver, por que se empañou?</i>	Solicita explicacións.
82	<i>[Flor]: Eu que sei.</i>	Expresa incapacidade para construír unha explicación.
83	<i>[Fátima]: Por que se empaña?</i>	Solicita explicacións.
84	<i>[Flor]: A ver, por que se empaña:: ó mellor foi tamén polo fume.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
85	<i>[Fátima]: Si, ó mellor si:: Ó mellor é polo fume.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
86	<i>[Felisa]: Eu creo que é porque a vela se está queimando.</i>	Explicación científica.
87	<i>[Fabiola]: Vós vedes na feira cando nas barreñas estas onde se bota o pulpo/</i>	Comparativa entre o fenómeno e a vida diaria.
88	<i>[Felisa]: E porque a vela se está empezando a queimar.</i>	Explicación científica.
92	<i>[Fabiola]: Como se apaga:: bota fume eh::</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
93	<i>[Fátima]: Pero o bota antes de que se apague!</i>	Oponse á explicación da compañeira.
94	<i>[Fabiola]: Bueno, vaise apagando e vai xa botando.</i>	Reformula a súa explicación.
99	<i>[Flor]: E vai botando fume á vez que se vai apagando.</i>	Retoma a observación.
100	<i>[Felisa]: Porque toca aquí arriba ou por que::?</i>	Solicita esclarecemento.
101	<i>[Fabiola]: Porque cando a vela se apagaba botaba fume. É igual que si cando bebes/ si estás bebendo e fas fuh ((onomatopea para simular a expulsión do aire dos pulmóns)), deixas empañado todo o vaso.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente e comparativa entre o fenómeno e a vida diaria.
102	<i>[Fátima]: Se probas nas ventanas tamén. Empáñase todo.</i>	Comparativa entre o fenómeno e a vida diaria.

Por outra banda, na quenda de fala 125 que se recolle no Cadro 4.62 a investigadora formula unha cuestión que esixe ás participantes identificar o material combustible nunha candeia.

Na quenda de fala 126 obsérvase como unha alumna, Felisa, sinala que se queima o que ten dentro a candeia, en referencia á mecha. Esta resposta que pon de manifesto a idea alternativa de que o único que arde nunha candeia é a mecha foi amplamente descrita noutros traballos (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997). Na quenda de fala 127 intervén Fabiola para engadir que tamén arde a cera da candeia. En subseguintes quendas de fala obsérvase que as demais integrantes do grupo concordan con esta última idea.

Cadro 4.62. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo F.

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
125	[Investigadora]: <i>E que se queima?</i>	Solicita identificar o material combustible nunha candeia.
126	[Felisa]: <i>O que ten dentro.</i>	Identifica a mecha como o combustible.
127	[Fabiola]: <i>E máis a cera de fóra, da que está feita a vela.</i>	Identifica como combustibles tanto a cera como a mecha.
128	[Investigadora]: <i>As dúas cousas?</i>	Solicita esclarecemento.
129	[Fabiola]: <i>Si.</i>	Reafirma a súa idea.
132	[Investigadora]: <i>E o resto que pensades? Ela teno seguro, que se queiman as dúas cousas. E o resto?</i>	Solicita identificar o material combustible nunha candeia.
133	[Flor]: <i>Tamén.</i>	Apoia a idea da compañeira.
134	[Fátima]: <i>Si.</i>	Apoia a idea da compañeira.

Na quenda de fala 145 que se recolle no Cadro 4.63 a investigadora pide ás participantes que expliquen por que a candeia se apaga cando se tapa cun recipiente. Na quenda de fala 146 unha alumna, Flor, apunta a unha falta de osíxeno. Malia poder considerar a explicación desta participante como científica debido a que fai referencia á falta de osíxeno como causa da extinción da chama, nesta resposta non se evidencia unha interacción química entre a cera da candeia e o osíxeno do aire.

Na quenda de fala 147 que se recolle no Cadro 4.63 a investigadora pregunta ás estudantes por que se necesita osíxeno para

que a candeia se manteña acesa. Na quenda de fala 148 outra alumna, Felisa, sinala que o lume precisa osíxeno para que non se apague. A resposta desta alumna na que se pon de manifesto que o osíxeno constitúe un recurso indispensable ou un “alimento” para o fogo é semellante ás interpretacións da combustión dunha candeia que Watson et al. (1997) inclúen no modelo de transmutación.

Cadro 4.63. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
145	<i>[Investigadora]: Vós dixestes que cando a tapábamos se apagaba. Por que?</i>	Solicita explicación.
146	<i>[Flor]: Cando se lle quita osíxeno.</i>	Explicación científica.
147	<i>[Investigadora]: Quitaselle o osíxeno. Logo que función ten o osíxeno?</i>	Solicita esclarecemento.
148	<i>[Felisa]: Que o fuego necesita osíxeno, e ó quedarse sin osíxeno se apaga.</i>	Explicación científica.
149	<i>[Investigadora]: Vale, e o osíxeno desaparece?</i>	Solicita esclarecemento.
151	<i>[Fátima]: Quédase empañado pola calor.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
152	<i>[Flor]: O osíxeno quéntase e convírtese en vapor.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Asemade, nas quendas de fala 151 e 152 dúas alumnas constrúen explicacións naturalistas con intervención dun axente, a calor. Na quenda de fala 151 unha alumna, Fátima, sinala que o osíxeno coa calor produce embazamento sobre o recipiente. A interpretación desta alumna pódese considerar comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990) pois intúese a idea de que a substancia, neste caso o osíxeno, se conserva véndose alteradas unicamente as súas propiedades físicas, neste caso o estado de agregación pasando de gas a líquido. Na quenda de fala 152 outra alumna, Flor, sinala que o osíxeno coa calor se converte en vapor. Entendendo que esta participante se refire ao vapor de auga, esta explicación encadraríase no modelo de transmutación de Andersson (1990) no que se incorpora a idea de que unha substancia, neste caso o osíxeno, se transforma noutra substancia totalmente diferente, neste caso a auga, sen conservarse a identidade atómica.

Por outra banda, os datos recollidos a través dos cuestionarios indican que as participantes teñen claro que a candeia se apaga pola falta de osíxeno e consideran que se produce embazamento sobre o recipiente que cobre a candeia por mor do fume, unha idea arredor da cal xirou gran parte da interacción en grupo e que finalmente calou no discurso das participantes. A modo de exemplo reproducése a resposta escrita de Felisa (ver Figura 4.14):

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
Que cando tapas o vaso a vela queda sin osíxeno. E queda unha marca arriba porque a vela antes de apagarse crece a llama. E empañase porque a medida que a vela lle diminúe a llama vota fume e empañase, e tamén polo calor do vaso polo fogo.

Figura 4.14. Resposta escrita de Felisa durante a fase de explicación

4.5.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo D (EC2)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a toma de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado emite predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 39. O segundo episodio, integrado polas intervencións da fase de observación, comprende as quendas de fala 40 a 132. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno tratando de conciliar as discrepancias existentes entre a predición e a observación, abrangue as quendas de fala 133 a 160.

Predición

No primeiro episodio deste evento a discusión acerca do que sucede ao quentar azucre foi pouco frutífera. Na quenda de fala 4 que se recolle no Cadro 4.64 obsérvase como un alumno, Daniel, sinala que o azucre se derreterá e se volverá de cor marrón. A predición deste participante resulta comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990) ao suxerir a idea de que a substancia, neste caso o

azucres, se conserva, véndose unicamente alteradas certas propiedades físicas como o estado de agregación que pasaría de sólido a líquido, e a cor. Na quenda de fala 22 intervéñ outro alumno, Diego, quen ofrece respaldo á predición que fai referencia a que o azucre se derrete.

Cadro 4.64. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo D.

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
4	<i>[Daniel]: Ah:: Que se derrite e se volve marrón.</i>	Emite unha predición.
6	<i>[Investigadora]: E por que? Todo o que poides tedes que explicar por que.</i>	Solicita unha explicación.
7	<i>[Diego]: Porque:: A ver, es como si me dices por que las cosas caen pa' bajo y no pa' riba ((risas)).</i>	Expresa incapacidade de xustificar a predición.
11	<i>[Investigadora]: Todo pasa por algo, pero tedes que buscarlle unha explicación.</i>	Insta aos participantes a xustificar as súas predicións.
19	<i>[Damián]: Que pensas que pasará cando o azucre contido/</i>	Le a primeira pregunta do cuestionario.
22	<i>[Diego]: Se va a derretir.</i>	Emite unha predición.
23	<i>[Dario]: Ala, ya hice la predicción. Le puse una frase solo. ¿Puedo jugar con el mechero?</i>	Dá por concluída a fase de predición.

En relación aos datos procedentes dos cuestionarios, todos os participantes predín que o azucre se derrete. Aparte do cambio de estado, un alumno, Daniel, fai referencia a que o azucre vai adquirir unha cor marrón e se volve máis denso porque condensa¹³ (ver Figura 4.15).

¹³ Desde o punto de vista científico, por densidade enténdese aquela magnitude física que mide a cantidade de masa que hai nun determinado volume, mentres que a condensación constitúe un cambio no estado de agregación da materia que se atopa en estado gasoso e pasa a estado líquido. A densidade dos gases é menor que a densidade dos líquidos, de maneira que o proceso de condensación leva aparelado un aumento de densidade. Non obstante, a sacarosa non condensa ao subministrarlle enerxía en forma de calor, senón que a calor desencadea na sacarosa un proceso de descomposición térmica que dá lugar á formación de carbono e vapor de auga.

Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta?
Que se fara líquido e se volverá marrón caramelo por o calor volvese mais denso e dicir que se produce condensación.

Figura 4.15. Reposta escrita de Daniel durante a fase de predición

En relación a como xustifican os participantes as predicións que inclúen no cuestionario, un alumno, Diego, proporciona unha resposta redundante ao sinalar que “o azucre é sólido e como calquera outro sólido, derrétese”. Outro alumno, Darío, fai referencia a que o azucre se derrete porque está tan quente que se evapora (ver Figura 4.16). A explicación que dá este alumno da predición pódese clasificar como de tipo naturalista con intervención dun axente, neste caso a calor, que desencadea o cambio. Por outra banda, esta reposta suxire que este alumno emprega o termo “evaporar”, que se refire ao cambio de estado da materia que se atopa en estado líquido e pasa a estado gasoso, para nomear o cambio de estado de estado de sólido a líquido.

Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta?
Que o azúcar derretiríase.
Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Que o azúcar ao estar tan quente evapórase.

Figura 4.16. Reposta escrita de Darío durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue das quendas de fala 40 a 132. Durante dito episodio a investigadora desenvolve a experiencia ao tempo que os estudantes observan os cambios que sofre o azucre ao quentalo.

As quendas de fala 41 a 66 constitúen intervencións pouco relevantes de cara aos obxectivos da investigación. Durante este fragmento da discusión os estudantes fixeron uso do material que tiñan enriba da mesa e comezaron a quentar o azucre por iniciativa

propia, sen agardar polas instrucións da investigadora. En relación co chisqueiro de alcohol que tiñan que utilizar para quantar o azucre, os participantes discutiron acerca da natureza da substancia combustible que contiña o chisqueiro. Por exemplo, un alumno, Daniel, estaba convencido de que dentro do chisqueiro había aceite, polo que a investigadora tivo que aclarar que se trataba de alcohol. Asemade, os participantes tamén falaron sobre o proceso de fabricación do vidro.

Nas quendas de fala 67 a 70 do Cadro 4.65 os participantes dan conta das primeiras observacións. Na quenda de fala 67 prodúcese a intervención dun alumno, Darío, quen fai referencia a que o azucre se puxo de cor amarela. Na seguinte quenda de fala intervéen outro alumno, Daniel, anticipándose ao desenlace do fenómeno ao sinalar que aínda se vai escurecer máis ata volverse marrón.

Cadro 4.65. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
67	<i>[Darío]: ¡Ostras! Es amarillo ((a mestura comeza a cambiar de cor)).</i>	Realiza observacións.
68	<i>[Daniel]: No, no es amarillo. Se va a volver un poco más marrón creo.</i>	Anticipase ao desenlace do fenómeno.
69	<i>[Darío]: ¡Sí:: está amarillo!</i>	Realiza observacións.
70	<i>[Daniel]: Más marrón creo. ¡Ves::! ¡Se está amarronando por aquí abajo! ¿Qué piensas? ¿Qué soy tonto?</i>	Realiza observacións.
76	<i>[Darío]: ¡Se está quemando!</i>	Considera a cor da mestura unha evidencia de que o azucre se está queimando.
77	<i>[Daniel]: Obviamente:: ¡Ves cómo se vuelve más marrón!</i>	Realiza observacións.
78	<i>[Diego]: Pero eso es naranja.</i>	Realiza observacións.
79	<i>[Darío]: ¡Eso es naranja!</i>	Realiza observacións.
80	<i>[Diego]: No sé si eres daltónico pero:: es naranja.</i>	Realiza observacións.
81	<i>[Darío]: ¡Está líquido! ¡Hace burbujas! ¡Qué divertido esto!</i>	Realiza observacións.

Na quenda de fala 76 do Cadro 4.65 intervéen Darío para mencionar que o azucre se está queimando. Semella que o alumno considera a cor escura que vai adquirindo a mestura como unha evidencia de que se está a producir unha combustión. A apreciación deste alumno non é axeitada desde o punto de vista da ciencia xa que

o azucre sofre unha transformación química, pero esta transformación non constitúe unha combustión senón unha descomposición térmica. Na quenda de fala 77 obsérvase como Daniel apoia esta interpretación baseada na idea de combustión. Na quenda de fala 81 as observacións de Darío van máis alá da cor que adquire o sistema material, e fai referencia por primeira vez á formación de burbullas.

Na quenda de fala 97 que se recolle no Cadro 4.66 obsérvase como Darío suxire que o azucre se está oxidando pola semellanza que existe entre a coloración que adquire a mestura e certos metais como o ferro ao estar en contacto co osíxeno un certo tempo. A explicación deste alumno pode ser clasificada como sintética, pois se ben o azucre sofre unha transformación de tipo químico, non se trata dunha reacción de oxidación-redución senón dunha descomposición térmica. Na quenda de fala 98 intervén Daniel para rexeitar a interpretación baseada na oxidación do azucre.

Cadro 4.66. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
95	[Damián]: Está de color naranja.	Realiza observacións.
96	[Diego]: Está naranja.	Realiza observacións.
97	[Darío]: Porque eso es oxidado.	Explicación sintética.
98	[Daniel]: Ti si que estás oxidado. Vaise oxidar co calor!	Oponse á explicación do compañeiro.

Nas quendas de fala 111 a 112 que se recollen no Cadro 4.67, dous alumnos, Darío e Diego, observan a aparición de gotas de auga no interior do tubo de ensaio, e na quenda de fala 117 Darío volve mencionar a formación de burbullas no seo da mestura. Na quenda de fala 122 obsérvase como a aparición de burbullas suxire a este alumno que a mestura contida no tubo de ensaio está a ferver¹⁴. Sen embargo, a aparición de burbullas neste caso débese ao vapor de auga que se

¹⁴ Desde o punto de vista da ciencia, por ebulición enténdese aquela transformación física da materia que implica a transición do estado líquido ao estado gasoso a unha temperatura determinada, afectado a toda a masa do líquido e manifestándose a través da formación de burbullas que conteñen no seu interior vapor. Dise que unha substancia ferve cando se acada a temperatura de ebulición iniciándose este proceso físico.

obtéñ como produto da descomposición térmica da sacarosa, non sendo o resultado dunha transformación física.

Cadro 4.67. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
111	[Darío]: <i>Se empaña el tubo.</i>	Realiza observacións.
112	[Diego]: <i>Es verdad. Se empaña el tubo.</i>	Comparte as observacións.
117	[Darío]: <i>Va subiendo, ¡Hay aros::! Mira, mira, burbujas.</i>	Realiza observacións.
119	[Daniel]: <i>Cantos anos?</i>	Solicita esclarecemento.
120	[Damián]: <i>Aros::!</i>	Aclara a observación.
121	[Daniel]: <i>Técnicamente non son aros, son burbujitas.</i>	Corrixe o termo utilizado para describir a observación de burbullas.
122	[Darío]: <i>¡Va subiendo! ¡Está fervendo!</i>	Realiza observacións.
123	[Diego]: <i>Está fervendo?</i>	Solicita esclarecemento
124	[Darío]: <i>¡Parece Coca-Cola!</i>	Compara a mestura cun refresco de cola.
125	[Diego]: <i>¡Es verdad::! ¡Parece Coca-Cola! ((risas)).</i>	Compara a mestura cun refresco de cola.
126	[Daniel]: <i>Vedes como se volvía marrón!</i>	Confirma a súa predición.
127	[Darío]: <i>Eso es oxidado más que marrón.</i>	Retorna a idea de que o azucre se oxida.
128	[Daniel]: <i>Ti si que estás oxidado::</i>	Rexeita a idea de que o azucre se oxida.

Por outra banda, nas quendas de fala 124 e 125 do Cadro 4.67, novamente estes dous estudantes, Darío e Diego, establecen que a mestura contida no tubo de ensaio se parece a unha bebida de cola en base ás burbullas que se forman e á cor ennegrecida que adquire a mestura. Pola súa parte, na quenda de fala 127 obsérvase como Darío volve suxerir que o azucre se oxidou.

En relación aos cuestionarios, tres participantes (Daniel, Damián, Darío) fan referencia nas súas respostas escritas a que o azucre se derrete e cambiar de cor. Asemade, Daniel engade que o azucre se transformou en caramelo (ver Figura 4.17). Supoñendo que este alumno entenda o caramelo como unha substancia diferente ao azucre, a interpretación que inclúe na descrición das observacións pode clasificarse como sintética ao intuírse unha idea incipiente de reacción química segundo a cal unha substancia (o azucre) se transforma noutra substancia distinta (o caramelo), sen conservarse a identidade atómica

desde un esquema de interpretación microscópico. Esta resposta é comparable ao modelo de transmutación proposto por Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos na materia. Pola súa banda, Darío engade como observación que se produce embazamento no tubo de ensaio.

Anota o que sucedeu.
Sucedeu que se quentou e co calor e cambio de color derriteuse e agora e caramelo.

Figura 4.17. Resposta escrita de Daniel durante a fase de observación

A resposta escrita que máis diverxe respecto das respostas dos compañeiros é a dada por Diego. Este estudante inclúe como observación que o azucre se evaporou. Contrastando estes datos coa explicación que posteriormente constrúe acerca do fenómeno, podemos concluír que este alumno considera que o azucre experimenta dous cambios de estado consecutivos. Segundo este alumno, o azucre en primeira instancia derreteríase pasando de estado sólido a líquido, para logo evaporarse.

Explicación

No terceiro e último episodio deste evento, comprendido polas quendas de fala 133 a 160, ten lugar a construción de explicacións por parte do alumnado. Neste episodio os participantes tamén se resistiron a discutir a interpretación do fenómeno de xeito espontáneo. Por esta razón, a interacción social tívose que ver fomentada de novo mediante a intervención da investigadora quen animou aos participantes a expresar as súas ideas. Cando a investigadora pide aos estudantes que expliquen o fenómeno observado, na quenda de fala 141 que se recolle no Cadro 4.68 intervén Darío para sinalar que o azucre pasou a estado líquido porque se derreteu. A explicación deste alumno pódese clasificar como naturalista de tipo axentivo ao incorporar a intervención dun axente externo, neste caso a calor, como causa que desencadea o cambio.

Cadro 4.68. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo D

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
140	<i>[Investigadora]: Vale, e despois como explicaches todo eso?</i>	Solicita explicación.
141	<i>[Darío]: O azucre:: o azucre convírtese en líquido porque se derrite. Cando se derrite o azucre o tubo empáñase.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
142	<i>[Investigadora]: Vale, e ti cres que eso seguiría sendo azúcar? Pensas que seguiría sendo azúcar?</i>	Solicita esclarecemento.
143	<i>[Daniel]: É caramelo.</i>	Explicación sintética.
144	<i>[Darío]: Azúcar derretido.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Coa intención de coñecer en que medida os estudantes interpretaron a transformación como un cambio químico, na quenda de fala 142 do Cadro 4.68 a investigadora pregunta aos participantes se o contido do tubo de ensaio segue a ser azucre. Na quenda de fala 143 intervéñ Daniel para sinalar que se trata de caramelo. Esta explicación pode ser clasificada como sintética, ao manifestar unha idea incipiente de reacción química ao considerar que se produciu a transformación dunha substancia (o azucre) noutra distinta (o caramelo). Asemade, a interpretación deste alumno resulta comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990) ao considerar que unha substancia se transforma noutra sen conservase os átomos desde un esquema de interpretación microscópico. Na quenda de fala 144 prodúcese a intervención de Darío quen considera que a substancia segue a ser azucre, pero derretido. Esta explicación pódese clasificar como naturalista con intervención dun axente externo (a calor) que desencadea o cambio. Asemade, esta resposta é comparable ao modelo de modificación proposto por Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos. Segundo este modelo, a substancia é a mesma pero cambian algunhas propiedades físicas como a cor ou o estado de agregación.

En relación aos datos procedentes dos cuestionarios, obsérvase como un alumno, Darío, considera que o embazamento que se produce sobre as paredes do tubo de ensaio procede da condensación do azucre (ver Figura 4.18). A interpretación dada por este alumno encádrase no modelo de modificación de Andersson (1990), xa que considera que o

azucres experimenta diferentes cambios de estado, pero segue a ser a mesma substancia.

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
O azúcre convírtese en líquido porque se derrite. Pola
condensación do azúcre o tubo empañase.

Figura 4.18. Resposta escrita de Darío durante a fase de explicación

Outro alumno, Diego, tamén contempla na súa resposta escrita varios cambios de estado para o azúcre, ao mencionar que se derrete e que a continuación se evapora. Segundo esta interpretación, en primeira instancia o azúcre pasaría de estado sólido a líquido, para seguidamente converterse en vapor (ver Figura 4.19).

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
O azúcre derritouse e logo evaporouse.

Figura 4.19. Resposta escrita de Diego durante a fase de explicación

Pola súa banda, Daniel fai referencia na súa resposta escrita a que o azúcre se converte en caramelo, mentres que Damián non constrúe ningunha explicación acerca do fenómeno, limitándose a describir o sucedido.

4.5.5.5 Descomposición térmica do azúcre: Análise do discurso do grupo E (EC2)

A análise do discurso divídese en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado formula predicións acerca do que sucederá ao quentar azúcre, comprende as quendas de fala 1 a 91. O segundo episodio, no que os participantes se dispoñen a observar o fenómeno, comprende as quendas de fala 92 a 130. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno tratando de conciliar as

discrepancias existentes entre a predición e a observación, abrangue as quendas de fala 131 a 152.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 21 que se recollen no Cadro 4.69 obsérvase a construción de predicións por parte de dous estudantes.

Cadro 4.69. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Investigadora]: Entonces ahora pensades que teño azúcar solo e o quento. Que lle pasaría?</i>	Solicita predicións.
2	<i>[Eduardo]: Que se convierte en caramelo.</i>	Emite unha predición.
3	<i>[Eva]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
5	<i>[Eduardo]: Se derrite y se convierte en caramelo.</i>	Emite unha predición.
6	<i>[Eva]: Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta? ((lendo a primeira pregunta do cuestionario)).</i>	Le a primeira pregunta do cuestionario.
7	<i>[Eduardo]: Que se va a convertir en caramelo.</i>	Emite unha predición.
11	<i>[Elisa]: Ala, xa acabei.</i>	Dá por finalizada a fase de predición.
18	<i>[Eva]: Bueno, quen acabou?</i>	Solicita información acerca do estado de desenvolvemento da tarefa.
19	<i>[Eduardo]: Yo sé qué es lo que va a pasar.</i>	Confía na plausibilidade da súa predición.
20	<i>[Eva]: Que é o que vai pasar?</i>	Solicita predicións.
21	<i>[Eduardo]: Que se va a derretir.</i>	Emite unha predición.

O primeiro alumno en intervir é Eduardo, quen semella ter claro que cando o azucre se quenta se converte en caramelo. A predición deste participante deixa entrever unha idea incipiente de reacción química na que unha substancia inicial (o azucre) se transforma noutra substancia (o caramelo). Na quenda de fala 3 intervéen Eva para mencionar que o azucre se derrete. A predición desta alumna resulta comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990) ao basear a súa interpretación na idea de que unicamente cambian as

propiedades físicas da substancia, neste caso o estado de agregación, ao pasar o azucre do estado sólido ao estado líquido.

As quendas de fala 22 a 65 constitúen intervencións do alumnado pouco relevantes de cara aos obxectivos da investigación. Durante este fragmento da discusión, os escolares desenvolven accións desligadas da tarefa como xogar coa gravadora que tiñan enriba da mesa, e tamén intercambiaron algúns comentarios relacionados con probar o azucre a través do sentido do gusto.

Cando a investigadora pregunta ao grupo acerca das súas predicións e pide que pensen na composición do que eles denominan como caramelo, nas quendas de fala 67 a 89 que se recollen no Cadro 4.70 obsérvase como os estudantes posúen dúas ideas ou modelos acerca do caramelo que entran en confrontación. Esta situación correspóndese co que Baker (2009) denomina conflito mixto de opinións interpersonal.

Na quenda de fala 67 do Cadro 4.70 prodúcese a intervención de Eduardo na que sinala que o caramelo consiste en azucre derretido. Para este alumno o caramelo prodúcese porque o azucre se funde e muda de cor, pero segue sendo azucre. Esta idea é comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos, segundo o cal se modifican as propiedades físicas da substancia, pero a substancia segue a ser a mesma. Neste caso, a calor que se transmite ao azucre constitúe o axente que desencadea o cambio. Porén, esta explicación acerca de en que consiste o caramelo pode clasificarse como naturalista con intervención dun axente (a calor).

Non obstante, na quenda de fala 70 obsérvase como para outra alumna, Estrela, o azucre e o caramelo son substancias distintas. A explicación desta alumna pódese clasificar como sintética ao deixar entrever unha idea incipiente de reacción química na que unha substancia inicial se transforma noutra substancia distinta. Esta explicación acerca do caramelo é comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990). Na quenda de fala 76 obsérvase como Eduardo defende a súa idea ou modelo establecendo unha comparación entre o caramelo e a pel dunha persoa que ao exporse ao sol se broncea.

Cadro 4.70. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
66	<i>[Investigadora]: Pero pensade que é o caramelo.</i>	Solicita interpretacións.
67	<i>[Eduardo]: Caramelo:: es:: azúcar derretido.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
68	<i>[Investigadora]: Pero sigue sendo azúcar?</i>	Solicita esclarecemento.
69	<i>[Eduardo]: Sí.</i>	Mantén o seu modelo de modificación.
70	<i>[Estrela]: No:: pasa a ser caramelo.</i>	Explicación sintética que entra en confrontación co modelo de modificación que activa o compañeiro.
71	<i>[Eduardo]: No:: sigue siendo azúcar.</i>	Mantén o modelo de modificación.
72	<i>[Elisa]: Azúcar derretido.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente que dá respaldo ao modelo do compañeiro.
73	<i>[Eva]: Azúcar:: moreno:: ((cantando))</i>	Canta unha canción.
74	<i>[Eduardo]: Azúcar moreno. ¡Ves! No, porque sigue siendo azúcar moreno.</i>	Defensa do modelo previo de modificación.
75	<i>[Estrela]: Que no::, que eso/</i>	Rexeita o modelo baseado na modificación da substancia.
76	<i>[Eduardo]: ¡Es como si yo me voy a la playa y me convierto en negro! ((risas))</i>	Defensa do modelo previo de modificación.
85	<i>[Eva]: Leva azúcar, pero non é azúcar.</i>	Rexeita o modelo baseado na modificación da substancia.
86	<i>[Eduardo]: Sí que es azúcar.</i>	Defensa do modelo previo de modificación.
88	<i>[Elisa]: Ti por levarnos a contraria:: ((dirixíndose ao seu compañeiro Eduardo)).</i>	Apoia o modelo da súa compañeira Eva.
89	<i>[Eduardo]: Es como si:: es como si yo voy a la playa y me convierto en negro. Sigo siendo:: sigue siendo mi piel::</i>	Defensa do modelo previo de modificación.

En relación aos datos procedentes dos cuestionarios, cómpre mencionar que estes concordan coas ideas expresadas durante a interacción en grupo. Tres dos participantes mencionan que o azucre se converterá en caramelo porque se quenta, e unha participante fai

referencia unicamente a que o azucre se funde. A modo de exemplo, transcríbense as repostas escritas de Eduardo (ver Figura 4.20) e Estrela (ver Figura 4.21).

Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta?
Que se va convertir en caramelo.

Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Porque se quenta.

Figura 4.20. Reposta escrita de Eduardo durante a fase de predición

Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta?
Que se derrite e pasa de estar sólido a líquido.

Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Polo calor que lle damos a esa substancia.

Figura 4.21. Reposta escrita de Estrela durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue da quenda de fala 92 ata a 130. Durante dito episodio os participantes desenvolven a experiencia ao tempo que observan as transformacións que sofre o azucre ao quentalo.

Na quenda de fala 114 do Cadro 4.71 obsérvase como unha estudante, Elisa, fai referencia novamente a que o azucre se está a converter en caramelo. A explicación desta alumna pódese clasificar como naturalista con intervención dun axente (a calor), xa que a partir da análise do discurso do primeiro episodio se observa que para esta alumna o caramelo segue sendo azucre que por mor do aporte de calor sufriu un cambio nas súas propiedades físicas. Na quenda de fala 116 intervén Eva sinalando que está a observar a formación de burbullas e o desprendemento de vapor de auga. Esta alumna engade na quenda de fala 119 que o azucre se converte en caramelo porque se queima.

Na quenda de fala 120 intervén Eduardo para expresar unha idea semellante. As explicacións destes dous alumnos arredor do que lle sucede ao azucre poden encadrarse na categoría de sintéticas. O azucre sofre unha transformación química, pero os estudantes fallan á hora de identificar o tipo de reacción química, facendo referencia a unha combustión en lugar de a unha descomposición térmica. Estas respostas son comparables ás descritas noutros traballos con nenos de 8 a 13 anos (Gabel et al., 2001) onde se evidencian as dificultades do alumnado para distinguir adecuadamente entre combustión e descomposición térmica.

Cadro 4.71. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo E

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
114	<i>[Elisa]: Ves como se convirte en caramelo.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
115	<i>[Investigadora]: E non vedes nada máis?</i>	Solicita observacións.
116	<i>[Eva]: Si:: que fai burbujas. Ah::! E que se pon aí o choio ese. Como se chamaba? O vapor.</i>	Realiza observacións.
117	<i>[Eduardo]: El vapor.</i>	Realiza observacións.
118	<i>[Investigadora]: Tedes que explicar todo o que vedes.</i>	Solicita explicacións.
119	<i>[Eva]: Vale, que cando se queima convírtese en caramelo e evapórase.</i>	Explicación sintética.
120	<i>[Eduardo]: Que se convirte en negro. ¿Por que eso? Porque se quemó el azúcar.</i>	Explicación sintética.

En relación aos cuestionarios, todos os participantes reflicten que o azucre se derrete e sae vapor. Asemade, tres participantes (Eduardo, Estrela e Elisa) engaden que o azucre se converteu en caramelo. A modo de exemplo, reproducése a resposta escrita de Elisa (ver Figura 4.22):

Anota o que sucedeu.
O azúcar deritese e combiertese en caramelo pero sal bapor.

Figura 22. Resposta escrita de Elisa durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento, durante o que os estudantes han de construír unha explicación acerca do observado durante o fenómeno, comprende da quenda de fala 131 ata a 152. Cómpre mencionar que durante este último episodio a discusión arredor do fenómeno foi nula. Ningunha das intervencións realizadas polo alumnado foi dirixida a construír unha explicación do observado, de aí que os únicos datos dispoñibles sexan os procedentes da fonte escrita.

A partir dos cuestionarios, vemos que tres participantes (Eduardo, Elisa e Eva) reproducen no apartado reservado á explicación a mesma resposta que a incluída para a observación. Deste xeito, fan referencia a que o azucre se derrete, sae vapor e se forma caramelo. Pola súa banda, Estrela proporciona unha explicación parcial do fenómeno ao sinalar que o vapor pasa de estado gasoso a estado líquido por mor da diferenza de temperaturas. En concreto, a resposta que dá esta alumna é a seguinte (ver Figura 4.23):

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
O azucre ao derretirse contén burbullas e cando se tapa o vapor sube e si o destapas polo cambio de temperatura o vapor convírtese en auga.

Figura 4.23. Resposta escrita de Estrela durante a fase de explicación

4.5.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo F (EC2)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios segundo a estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a recollida de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado emite predicións acerca do que pensa que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 66. O segundo episodio, integrado polas intervencións da fase de observación, comprende as quendas de fala 67 a 175. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno tratando de conciliar as

discrepancias existentes entre a predición e a observación, abrangue as quendas de fala 176 a 208.

Predición

Durante as quendas de fala 3 a 12 as estudantes formulan predicións acerca dos cambios que sufrirá o azucre ao sometelo a unha fonte de calor. Como se observa no Cadro 4.72 existe consenso entre as participantes ao sinalar que o azucre se vai derreter. As predicións destas alumnas son comparables ao modelo de modificación de Andersson (1990), xa que para elas semella que unicamente se altera o estado de agregación do azucre, manténdose a mesma substancia tras o cambio.

Cadro 4.72. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
3	<i>[Investigadora]: Un tubo de ensaio e esto. Un tubo de vidro e botádeslle azúcar e quentádelo, por exemplo con esto ((sinalando o chisqueiro de alcohol)). Que lle pasaría?</i>	Solicita predicións.
4	<i>[Fabiola]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.
7	<i>[Fátima]: Como si se derrite pero::</i>	Emite unha predición.
8	<i>[Flor]: Cando o metes na sartén e como si:: como si tivera::</i>	Relaciona o fenómeno con experiencias da vida diaria.
9	<i>[Fabiola]: Si, báixase e despois xa remexes e podes facer un flan.</i>	Relaciona o fenómeno con experiencias da vida diaria.
10	<i>[Flor]: Pero non notas o azúcar. Notas::</i>	Relaciona o fenómeno con experiencias da vida diaria.
11	<i>[Fabiola]: Entonces que lle poñemos?</i>	Solicita predicións.
12	<i>[Felisa]: Que se derrite.</i>	Emite unha predición.

Por outra banda, parece que as experiencias previas na vida diaria influíron nesta predición, xa que como se observa nas quendas de fala 8 e 9 do Cadro 4.72, algunhas participantes recoñecen haber sometido a caramelización o azucre.

O discurso comprendido entre as quendas de fala 15 a 45 que se recollen no Cadro 4.73 xira arredor das razóns polas que o azucre se

derrete. Na quenda de fala 23, unha alumna, Flor, sinala que o azucre se vai derreter por mor da calor. Esta explicación da predición pódese clasificar como naturalista axentiva ao incorporar a intervención dun axente externo, neste caso a calor, como causa que desencadea o cambio.

Na quenda de fala 24, outra estudante, Felisa, concorda coa explicación de Flor. Non obstante, cómpre salientar que esta alumna confunde os termos de fusión e sublimación, posto que fai referencia a que o azucre se derrete e se transforma en vapor¹⁵. Posteriormente, na quenda de fala 26 obsérvase como esta mesma alumna emprega o termo derreter co significado de queimar, ao mencionar que ao incinerar a unha persoa se derrete en cinzas.

Cadro 4.73. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de predición do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
17	<i>[Flor]: Porque:: porque:: porque ó azúcar se lle das calor tóstase ((risas)). Eu que sei.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
20	<i>[Fabiola]: A ver, porque:: claro:: A ver:: o azúcar derrítese::</i>	Emite unha predición.
21	<i>[Flor]: No xa, pero por que?</i>	Solicita explicacións da predición.
23	<i>[Flor]: Porque lle dá calor.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
24	<i>[Felisa]: Claro, e as cousas cando se quentan derrítense obviamente. Convírtense en vapor:: como os fantasmas. Nós cando nos incineran::</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
25	<i>[Flor]: Nós se nos prendemos lume transformámonos en cinzas.</i>	Conecta a interpretación do fenómeno coa vida diaria.
26	<i>[Felisa]: Derretímonos en cinzas.</i>	Conecta a interpretación do fenómeno coa vida diaria.
34	<i>[Fabiola]: Por que se derrite? Porque:: porque co fogo derrítese. Ahora se ti pos esto::</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.
35	<i>[Fátima]: Si, vaise derretir.</i>	Emite unha predición.

¹⁵ Tanto a fusión como a sublimación son cambios físicos na materia nos que muda o estado de agregación das sustancias, pero a fusión refírese ao cambio de estado de sólido a líquido mentres que a sublimación consiste no paso directo de sólido a gas ou vapor.

36	<i>[Fabiola]: Voulle poñer porque todo::</i>	Trata de xustificar a predición.
37	<i>[Felisa]: No, todo no. Si lle pos un metal non se::</i>	Oponse á xustificación que suxire Fabiola.
38	<i>[Flor]: Si:: derrítese.</i>	Defende a xustificación que suxire Fabiola.
39	<i>[Felisa]: O metal? No:: Ou lle pos un super calorazo de la muerte::</i>	Oponse á xustificación que suxire Fabiola.
42	<i>[Flor]: Dá igual canto! Derrítese!</i>	Defende a xustificación que suxire Fabiola.
43	<i>[Felisa]: Poñémoslle eso? Porque todo lo que se quema se derrite.</i>	Acepta finalmente a xustificación de Fabiola.
44	<i>[Fátima]: Eu voulle poñer así porque é que eu non sei.</i>	Acepta a xustificación de Fabiola.
45	<i>[Felisa]: Derrítese. Porque todo o que está en contacto co fogo derrítese.</i>	Explicación da predición naturalista axentiva.

Finalmente, nas quendas de fala 43 a 45 obsérvase como as estudantes conclúen que o azucre se derreterá porque todo o que está en contacto co lume se derrete. As respostas que inclúen no primeiro apartado do cuestionario tamén reflicten esta idea. A modo de exemplo, reproducéase a resposta escrita de Fabiola (ver Figura 4.24).

Que pensas que pasará cando o azucre contido nun tubo de ensaio se quenta?
Que se derrite.

Escribe as razóns polas que pensas que sucede o que anotaches no apartado anterior.
Porque todo o que está en contacto co fogo derrítese.

Figura 4.24. Reposta escrita de Fabiola durante a fase de predición

Nas quenda de fala 46 a 66 tiveron lugar intervencións pouco relevantes de cara aos obxectivos da investigación. Durante este fragmento da discusión, as estudantes comezaron a mirar o material do que dispuñan para desenvolver a experiencia práctica. As escolares comentaron abraiadas o tamaño da pinza de madeira pensada para suxeitar o tubo de ensaio, e amosaron dúbidas acerca do funcionamento do chisqueiro. Polo olor que desprendía, as alumnas intuiron que a substancia que contiña o chisqueiro no interior era

alcohol, xa que nunha primeira instancia pensaron que era auga ou colonia.

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue da quenda de fala 67 ata a 175. Durante dito episodio a investigadora desenvolve ante as estudantes a experiencia, mentres que elas observan os cambios que sofre o azucre durante o proceso. Na quenda de fala 97 do Cadro 4.74 intervén Felisa para mencionar que o azucre está todo derretido. Na seguinte quenda de fala, outra alumna, Fátima, suxire que a mestura adquiriu unha cor amarela. Esta observación relativa ao cambio de cor é confirmada na quenda de fala 101 por outra estudante, Fabiola.

Cadro 4.74. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
68	[Felisa]: A profe encende o fuego. Hai fuego ((relatando o que pasa)).	Describe o procedemento.
69	[Investigadora]: Eses detalles podédelos obviar. Simplemente o que lle pasa ó azúcar. Centrádevos en eso.	Esclarece o desenvolvemento da tarefa.
70	[Fátima]: Observación! Primeiro a profe eh:: encende o fuego ((risas)).	Describe o procedemento.
71	[Felisa]: A profe mete o azúcar nun tubo.	Describe o procedemento.
74	[Fabiola]: Eu non vexo que pase nada.	Amosa impaciencia acerca do devir do fenómeno.
75	[Felisa]: A profe quentando o azúcar.	Describe o procedemento.
93	[Fabiola]: Mira! Mira! Mira! Por abaixo! Por abaixo!	Comeza a ver cambios no azucre.
97	[Felisa]: Está todo derretido.	Realiza observacións.
98	[Fátima]: E está como amarillo, non?	Realiza observacións.
101	[Fabiola]: Está amarillo.	Realiza observacións.
106	[Felisa]: Mira! Mira! Mira! Fai burbujitas!	Realiza observacións.
107	[Fátima]: Si, por aí! Fai burbujitas::!	Realiza observacións.
108	[Felisa]: Está facendo caramelo eh.	Relaciona a mestura do tubo de ensaio con caramelo.

Na quenda de fala 106, unha participante, Felisa, dá conta por primeira vez da formación de burbullas no seo da mestura. Na quenda de fala 108, esta mesma alumna engade que o azucre se está convertendo en caramelo. A interpretación xerada por esta estudante

durante a observación manifesta unha incipiente idea de cambio químico segundo a cal o azucre se transmuta en caramelo. Esta explicación é comparable ao modelo de transmutación proposto por Andersson (1990), segundo o cal as substancias se transforman noutras substancias diferentes, sen conservarse a nivel microscópico a identidade atómica.

Na quenda de fala 126 e posteriores que se recollen no Cadro 4.75, a investigadora pregunta ás estudantes acerca das observacións efectuadas durante o proceso de descomposición térmica. Na quenda de fala 127 intervén Felisa para mencionar que o azucre contido do tubo de ensaio se estaba fundindo. Na quenda de fala 129 intervén Fabiola para engadir que se formaron burbullas, e na quenda de fala 135 outra alumna, Flor, fai referencia ao cambio de cor a negro e alaranxado. Na quenda de fala 133 obsérvase como aparece de novo a idea de que o azucre se está convertendo en caramelo. A explicación construída por esta alumna, Fátima, encádrase na categoría de sintética, xa que manifesta unha incipiente idea de cambio químico desde unha perspectiva macroscópica segundo a cal o azucre se transforma noutra substancia diferente, neste caso en caramelo. Asemade, esta explicación resulta comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990) para a interpretación das transformacións químicas.

Na quenda de fala 148 a investigadora dirixe a observación coa intención de que as estudantes se fixen nas gotas de auga que recobren as paredes do tubo de ensaio e que son o resultado da condensación do vapor de auga liberado durante a descomposición térmica. Todas as estudantes do grupo dan respostas nas que relacionan o embazamento do recipiente con vapor de auga. Cando a investigadora pregunta na quenda de fala 158 acerca da procedencia do vapor de auga, intervén Fabiola na quenda de fala 159 para sinalar que vén do lume. Esta explicación acerca da orixe do vapor de auga pode ser clasificada como naturalista con intervención dun axente (o lume). Asemade, esta resposta deixa entrever que posiblemente esta alumna estea pensando nunha transmutación do lume en auga.

Cadro 4.75. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
126	[Investigadora]: E que vedes?	Solicita observacións.
127	[Felisa]: Que se está fundindo.	Realiza observacións.
128	[Investigadora]: E aparte deso?	Solicita observacións.
129	[Fabiola]: Que fai burbujitas.	Realiza observacións.
130	[Investigadora]: E aparte deso?	Solicita observacións.
131	[Felisa]: A profe estalle dando con fuego.	Realiza observacións.
133	[Fátima]: Pois que se está convertindo en caramelo.	Explicación sintética.
134	[Investigadora]: E que máis?	Solicita observacións.
135	[Flor]: Pois que se está poñendo naranja ou neghro. O que sea.	Realiza observacións.
148	[Investigadora]: E por aquí non vedes nada?	Dirixe a observación.
149	[Fabiola]: Que se está empañando!	Realiza observacións.
150	[Fátima]: Que se está empañando::	Realiza observacións.
151	[Felisa]: Que se empaña.	Realiza observacións.
152	[Investigadora]: E por que se empaña tamén?	Solicita explicacións.
154	[Fabiola]: Porque o fume fixo que se empañara.	Explicación naturalista con intervención dun axente.
155	[Investigadora]: Cando algo se empaña que é o que se está depositando?	Solicita esclarecemento.
156	[Flor]: Agua.	Identifica a substancia que condensa sobre o tubo de ensaio.
157	[Fabiola]: Vapor.	Identifica a substancia que condensa sobre o tubo de ensaio.
157	[Fátima]: Vapor de agua.	Identifica a substancia que condensa sobre o tubo de ensaio.
158	[Investigadora]: E de onde virá?	Solicita explicacións.
159	[Fabiola]: Do fuego.	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Pese a que en intervencións anteriores semella que as estudantes teñen claro que as gotas de auga que aparecen sobre as paredes internas do tubo de ensaio son debidas ao vapor de auga que condensou, na quenda de fala 173 do Cadro 4.76 obsérvase como unha alumna, Flor, confunde o vapor de auga que se desprende durante a descomposición térmica con fume. Na quenda de fala 174 vese como outra estudante, Fabiola, emprega esta observación como unha proba de que o contido do tubo de ensaio se está a queimar. Esta

resposta é semellante á descrita por Gabel et al. (2001) na que se pon de manifesto as dificultades dos participantes (8-13 anos) para diferenciar axeitadamente entre descomposición térmica e combustión. Como sinalan estes autores, as dificultades para interpretar estes fenómenos probablemente procedan do uso na linguaxe cotiá do termo queimar. De feito, na quenda de fala 175, unha participante, Fátima, menciona que ole de xeito similar a cando súa nai deixa durante demasiado tempo as tartas no forno.

Cadro 4.76. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de observación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
171	[Fátima]: Ule a caramelo. Bota fume::!	Realiza observacións.
172	[Investigadora]: Seguras?	Solicita esclarecemento.
173	[Flor]: É que é igual ó fume de cando fumas.	Conecta a interpretación do fenómeno coa vida diaria.
174	[Fabiola]: É que algo se está queimando.	Explicación sintética.
175	[Fátima]: Olen como as tartas que fai miña nai ((risas)). Ahora si que ole mal eh!	Conecta a interpretación do fenómeno coa vida diaria.

No que respecta aos datos procedentes das producións escritas, obsérvase que todas as participantes fan referencia a que se fixo caramelo. Esta idea de que o azucre se converteu en caramelo é comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos. Asemade, dúas estudantes, Flor e Fátima, recollen nas súas producións escritas a observación de que sae fume e cambia de cor. Como exemplo, reproducése a resposta escrita de Fátima (ver Figura 4.25):

Anota o que sucedeu.

Que se fixo caramelo e sale fume ao final. Tamén cambia de color.

Figura 4.25. Resposta escrita de Fátima durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento, durante o que as estudantes han de construír unha explicación acerca do observado durante o fenómeno, comprende das quendas de fala 176 a 208.

Nas primeiras intervencións deste evento as estudantes xeran explicacións semellantes ás construídas polo alumnado de Educación Infantil pertencentes ao primeiro estudo de casos (EC1). Así, na quenda de fala 179 que se recolle no Cadro 4.77 obsérvase como unha alumna, Flor, fai referencia a que o azucre se transformou en negro. Na quenda de fala 180 intervén Fabiola para introducir de novo a idea de que o azucre se transformou en caramelo. Estas explicacións nas as estudantes fan referencia a que o azucre se converte noutra substancia distinta cun cambio de identidade desde o punto de vista corpuscular, poden clasificarse como sintéticas, ao poñer en evidencia unha incipiente idea de interacción química segundo a cal unha substancia se transforma noutra substancia distinta. Ante a pregunta dunha compañeira na que solicita unha explicación acerca de por que o azucre se converteu en caramelo, na quenda de fala 182 intervén Felisa para sinalar que o azucre se derreteu porque se quentou. A explicación desta alumna encádrase na categoría de naturalista axentiva ao incorporar a intervención dun axente que desencadea o cambio, neste caso a calor.

Cadro 4.77. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
176	<i>[Investigadora]: Tedes que intentar explicalo ((as observacións efectuadas)).</i>	Solicita explicacións.
179	<i>[Flor]: Que se fixo neghro.</i>	Explicación sintética.
180	<i>[Fabiola]: Que se fixo caramelo.</i>	Explicación sintética.
181	<i>[Flor]: Que lle imos poñer oh? Que se fixo caramelo? E por que? Non o sabemos. Por que se fixo caramelo?</i>	Solicita explicacións.
182	<i>[Felisa]: Porque se quentou e derretiuse, o sea, fundiuse. Fundiuse todo.</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.

Nas quendas de fala 197 a 207 do Cadro 4.78 obsérvase como as estudantes consideran a negrura dos produtos resultantes da reacción de descomposición e o desprendemento de vapor de auga, que

confunden con fume, como evidencias de que o azucre se queimara. Para sustentar esta explicación, ademais de basearse nas observacións, establecen unha analoxía entre o azucre e a madeira. A partir dun coñecemento xestado no ámbito cotián, as estudantes conclúen que o azucre se tivo que queimar porque a madeira cando arde tamén se pon de cor negra. Como sinalan Gabel et al. (2001), os estudantes descoñecen que a negrura non sempre é unha evidencia de que tivo lugar unha combustión, e non son quen de comprender que o remanente de cor negra, na meirande parte dos casos, se trata de carbón que non chegou a arder. Estas explicacións que fan referencia a que o azucre se queima poden encadrarse na categoría de sintéticas. Trátase dunha explicación que comparte certos elementos clave coa interpretación científica do fenómeno, pois o azucre experimenta unha transformación química, pero falla ao identificar o tipo de reacción química. O azucre non sofre unha reacción de combustión, senón unha descomposición térmica.

Cadro 4.78. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo F

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
197	[Fabiola]: <i>E por que se produce o fume?</i>	Solicita explicacións.
198	[Felisa]: <i>Porque se estaba queimando.</i>	Explicación sintética.
199	[Fabiola]: <i>Vale. E que máis lle poñemos? Por que salía fume? Por que se estaba queimando moito. Pero por que cambia de color?</i>	Solicita explicacións e dá unha explicación sintética para o vapor de auga que identifica con fume.
200	[Felisa]: <i>Porque se quenta!</i>	Explicación naturalista con intervención dun axente.
201	[Fátima]: <i>Porque se queima!</i>	Explicación sintética.
205	[Fabiola]: <i>Cando ti queimas a madeira!</i>	Conecta a interpretación do fenómeno coa vida diaria.
206	[Fátima]: <i>Que? Ponse máis negrha.</i>	Solicita esclarecemento.
207	[Felisa]: <i>Ponse negra porque está queimada.</i>	Explicación sintética.

Nos cuestionarios atópanse respostas semellantes ás que foron emerxendo ao longo da interacción en grupo. Entre as ideas máis repetidas polas estudantes figuran que o azucre se converteu en caramelo, e que sae fume e cambia de cor porque se queimou. A modo

de exemplo, reproducése a resposta escrita de Fabiola (ver Figura 4.26):

Explica como se foses un científico o que sucedeu.
Que o azúcar diminúe de tamaño porque se xuntou todo
para formar o caramelo. Tamén saleu fume mentres se
queimaba. Cambiou de color porque se queimaba.

Figura 4.26. Resposta escrita de Fabiola durante a fase de explicación

4.5.5.7. Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 2 (EC2)

Neste estudo de casos (EC2) pretendeuse describir os tipos de explicacións que grupos de estudantes do sexto curso da Educación Primaria (11 a 12 anos) constrúen cando intentan dar sentido a dous fenómenos cotiáns como a combustión dunha candea e a descomposición térmica do azucre. Tamén se pretendeu coñecer en que medida estas explicacións se poden considerar indicadoras de que os nenos posúen ou están en condicións de construír un modelo precursor acerca dos cambios na materia.

En relación ao fenómeno de combustión, case todos os participantes xa desde o inicio entenderon a necesidade do osíxeno ou do aire para que a candea se manteña acesa. Ante a pregunta na que se pedía aos participantes que pensasen acerca do que sucedería ao tapar unha candea acendida cun vaso, todos responderon que a candea se ía apagar. A maior parte dos escolares xustificaron esta predición mediante a construción dunha explicación que podemos considerar científica ao apuntar a unha falta de aire ou osíxeno. Entre os alumnos que mencionaron esta idea, atopamos algúns nenos que deron respostas semellantes ás que Watson et al. (1997) situaron no modelo de transmutación, por facer referencia ao osíxeno como alimento para a chama. Para xustificar a predición de que a candea se ía apagar, outro alumno emitiu unha explicación non naturalista intencional mediante a atribución dun proceso propio dos seres vivos á candea. Este alumno mencionou que a candea se ía apagar porque non podía respirar.

Despois da observación e durante a discusión arredor do fenómeno, unha parte das intervencións continuaron a contemplar a necesidade de aire ou osíxeno para que a candeia arda, construíndo explicacións científicas para dar conta deste aspecto do fenómeno. Non obstante, non existiron evidencias de que os estudantes pensasen nunha interacción química entre o combustible e o comburente.

Alén da extinción da chama, varios estudantes manifestaron haber visto como o recipiente se embazaba, se ben esta observación non xurdiu de maneira espontánea senón a raíz das intervencións da investigadora e a observación guiada. A maior parte dos participantes construíron explicacións de tipo axentivo para interpretar a aparición de gotas sobre as paredes do vaso. Dous alumnos interpretaron a aparición de gotas sobre o vaso que cobre a candeia como unha transmutación de calor en auga, e outros dous participantes incluíron nas súas respostas a idea de que o osíxeno se transmutara en vapor. Estas respostas son semellantes ás descritas noutros traballos (e. g. Abdullah et al., 2016; Chang, 1999; Coştu, 2008; Coştu et al., 2012; Kind & Kind, 2011; Méndez, 2013; Prieto et al., 1992) que poñen de manifesto as dificultades do alumnado para interpretar o fenómeno de condensación, sendo recorrentes as respostas que consideran a auga líquida como o produto dunha transmutación de sustancias ou enerxía. Con relación ás interpretacións que xurdiron para dar conta da observación de aparición de auga sobre o vaso, interesante resaltar que tres alumnos explicaron que o embazamento procedía do fume, e outros tres alumnos explicaron que o embazamento procedía de vapor que sae da cera da candeia ou, de maneira máis xenérica, da candeia. Estas respostas suxiren que estes participantes posúen unha concepción da candeia como unha “fonte” de vapor de auga. Para eles o vapor de auga non está no aire, senón que se produce durante o devir do fenómeno.

Tamén cómpre destacar que, a diferenza doutros traballos (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997), a maioría dos participantes deste estudo de casos (EC2) consideraron que a cera arde durante a combustión dunha candeia. Ademais, os participantes foron quen de establecer unha relación de proporcionalidade directa entre o tamaño do recipiente e a

cantidade de osíxeno que alberga no seu interior e, en consecuencia, co tempo que a candea permanece acesa.

En relación á descomposición térmica do azucre, do mesmo xeito que no caso do alumnado de Educación Infantil (EC1), os resultados obtidos suxiren que inicialmente os nenos tenden a empregar explicacións de tipo naturalista con intervención dun axente para xustificar os cambios que pensan que sucederán ao quentar azucre. Considerando os datos procedentes das transcricións, nove participantes fixeron referencia a que o azucre se ía derreter e unha alumna mencionou que o azucre se ía evaporar. Para xustificar estas respostas, os participantes introduciron a intervención da calor como axente que desencadea o cambio. Asemade, establecendo unha correspondencia entre estas respostas e os modelos para a interpretación dos cambios químicos propostos por Andersson (1990), estas interpretacións son comparables ao modelo de modificación. Dous participantes mencionaron que o azucre se transformaría en caramelo, e outros dous fixeron referencia a que o azucre se ía queimar ou tostar.

Durante as seguintes fases da intervención, a observación e a discusión arredor do fenómeno en busca dunha interpretación plausible promoveron a construción de explicacións de tipo sintético comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990) segundo o cal unha substancia, neste caso o azucre, se transforma noutras substancias diferentes. Seis estudantes na fase de observación e tres estudantes na fase de explicación fixeron mención nas súas respostas a que o azucre se transmutara noutras substancias como Coca-Cola ou caramelo. Tamén se observou un aumento da incidencia de respostas nas que se menciona a idea de que o azucre se queima ou se tosta, con catro estudantes na fase de observación e dous na fase de explicación.

Con relación á aparición de auga sobre as paredes do tubo de ensaio, poucos estudantes construíron unha explicación para esta observación. O feito de que os estudantes non considerasen de forma espontánea a observación do embazamento como unha proba na que sustentar as súas explicacións pode deberse ao reto que supón para o alumnado incorporar nova información nos seus esquemas de

razoamento, de modo que optan por desconsiderar aqueles datos empíricos para os que non teñen unha resposta (Vosniadou, 2002). Considerando os datos procedentes das transcripcións, entre aqueles participantes que si fixeron un intento por explicar esta observación, unha alumna mencionou que a aparición de auga se debía a gotas procedentes do fume, e un alumno fixo referencia a gotas procedentes do azucre.



5 MODELOS ACTIVADOS POLO ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ACERCA DE PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DA MATERIA

*Alguns resultados deste capítulo xa foron publicados como Sesto ^a, V., & García-Rodeja ^b, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534. <http://hdl.handle.net/10498/19505>. E-ISSN: 1697-011X

^a, ^b Área de Didáctica das Ciencias Experimentais, Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultade de Ciencias da Educación (Campus Norte), Universidade de Santiago de Compostela, Avenida Xoán XXIII, s/n, 15782, Santiago de Compostela, A Coruña, España.

5.1 INTRODUCCIÓN

Neste capítulo preséntanse dous estudos de casos cuxo obxectivo foi describir os modelos mentais que empregan os participantes de educación secundaria para predicir e interpretar fenómenos relacionados coa transformación da materia, ao tempo que se avalía en que medida a observación, a reflexión e a discusión sobre os fenómenos contribúen a unha evolución dos modelos iniciais dos participantes. Un estudo de casos (EC3) foi desenvolto nun instituto de ensino secundario de España, mentres que o outro estudo de casos (EC4) foi desenvolto nun centro situado en Suecia. Esta circunstancia

permitirá ademais, no Capítulo 6 desta tese, comparar o desempeño dos participantes de ambos países no que a interpretación de cambios na materia se refire.

Nos seguintes apartados especificase o obxectivo e as preguntas de investigación arredor das cales xira este capítulo, descríbense en maior profundidade os participantes e o contexto de cada estudo de casos, preséntase a metodoloxía adoptada para a recollida e a análise de datos, e discútense os resultados obtidos.

5.2 MARCO TEÓRICO

Nesta sección preséntase a fundamentación teórica deste capítulo de maneira máis extensa que a discusión incluída no marco teórico xeral da tese.

5.2.1 Características dos modelos empregados polo alumnado para explicar os cambios químicos

No ámbito da investigación en didáctica das ciencias existe un amplo espectro de estudos destinados a caracterizar a comprensión do alumnado acerca da natureza da materia e as súas transformacións. Estas investigacións evidencian que os estudantes posúen diversas ideas e modelos alternativos en torno ás catro principais dimensións do concepto de materia: conservación (e. g. Othman et al., 2008; Smothers & Goldston, 2010); composición e estrutura (e. g. Adbo & Taber, 2014; Benarroch, 2000; Domínguez et al., 1996; Merino & Sanmartí, 2008); propiedades e cambios físicos (e. g. Bar & Galili, 1994; Osborne & Crosgrove, 1983; Tytler et al., 2007); e propiedades e cambios químicos (e. g. BouJaoude, 1991; Hesse & Anderson, 1992; Lacolla et al., 2014; Löfgren & Helldén, 2008; Prieto et al., 1992).

Polo que respecta á dimensión relativa ás propiedades e cambios químicos na materia, que é a que atinxe a esta tese, Andersson (1990) foi un dos primeiros autores en describir o estado da cuestión mediante unha revisión dos estudos publicados acerca da comprensión dos estudantes neste domino conceptual. Este autor identificou cinco categorías ou modelos que os estudantes empregan para interpretar os cambios na materia: (a) desaparición, (b) desprazamento, (c) modificación, (d) transmutación e (e) interacción química. Desde un

punto de vista macroscópico, Andersson (1990) describe o cambio químico como desprazamento cando se considera que as substancias aparecen ou desaparecen porque foron desprazadas desde ou cara outra localización. A reacción química concibida como unha modificación supón que as substancias se conservan, véndose alternadas unicamente as súas propiedades físicas. Desde un esquema de interpretación microscópico, o modelo de modificación suporía unha translación das propiedades macroscópicas das substancias aos átomos e moléculas, de aí que abranga interpretacións nas que os átomos e as moléculas poden cambiar de estado físico, de cor ou de tamaño, entre outros (Benarroch, 2000). A reacción química entendida como unha transmutación supón transformacións nas que unhas substancias se transforman noutras diferentes sen conservarse a identidade dos elementos a nivel microscópico, ou ben transmutacións de materia en enerxía (Andersson, 1990).

Noutro traballo no que participaron estudantes de 17 anos, Solsona et al. (2003) identificaron catro modelos diferentes para interpretar os cambios químicos, aos que se referiron como perfís conceptuais: (a) interactivo, (b) mecano, (c) cociña e (d) incoherente. O perfil ou modelo interactivo entende o cambio químico como unha transformación dunhas substancias noutras, existindo coherencia entre os esquemas de representación microscópico e macroscópico (Solsona et al., 2003). Este perfil é comparable ao modelo de interacción química proposto por Andersson (1990). O perfil ou modelo mecano caracterízase por que as interpretacións xiran arredor da natureza corpuscular da materia, sen atender ao fenómeno macroscópico, mentres que no perfil ou modelo cociña as interpretacións se centran no fenómeno, sendo descritas as transformacións como cambios físicos ou cambios de propiedades. O perfil cociña é comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990). O perfil incoherente caracterízase por un discurso inconsistente eminentemente descritivo.

Por outra banda, diferentes autores recorreron aos modelos propostos por Andersson (1990) para analizar a comprensión dos estudantes acerca de diferentes fenómenos nos que a materia se transforma. Prieto et al. (1992) foron uns dos primeiros autores que empregaron o marco conceptual desenvolto por Andersson (1990)

para investigar as ideas dos estudantes (14 a 15 anos) arredor do fenómeno de combustión. Estes autores atoparon que a combustión adoita ser descrita en termos dunha modificación ou transmutación de substancias. O emprego do modelo de modificación ten maior incidencia cando se trata de substancias como o alcohol, a cera ou os metais, xa que nestes casos os estudantes tenden a describir a combustión como un cambio de estado (Prieto et al., 1992). Asemade, estes autores observaron que algúns participantes tiñan unha concepción da calor acorde coa teoría do calórico, segundo a cal a calor ten as mesmas propiedades que as entidades materiais. Outros autores (e.g. BouJaoude, 1991; Méheut et al., 1985) xa evidenciaran que os modelos que os estudantes activan para interpretar as reaccións de combustión veñen condicionados pola natureza do material combustible. Méheut et al. (1985) describiron como os estudantes activaban un modelo ao facer referencia á cera ou aos metais, dos que dicían que se funden ou se evaporan, e sen embargo, ao referirse á madeira, ao cartón ou ao papel, sinalaban que se queimaban transformándose noutras substancias ou en nada. BouJaoude (1991) tamén atopou que os estudantes modelizaban a combustión do alcohol como unha evaporación, a combustión da madeira como o cambio a cinzas e a combustión dunha candeia como unha fusión. Prieto et al. (1992) sinalaron que a inconsistencia existente nas interpretacións da combustión se debe a que o alumnado está comezando a reconstruír os seus propios modelos mentais na busca dun maior poder explicativo.

Posteriormente, Watson et al. (1997) volveron analizar parte dos datos recollidos no traballo de Prieto et al. (1992) para explorar a consistencia das explicacións dos estudantes (14 a 15 anos) sobre reaccións de combustión, incorporando ao modelo de modificación de Andersson (1990) a idea de que o osíxeno non participa activamente na combustión, sendo a chama o axente responsable da transformación observada na substancia, e engadindo a categoría ou modelo de transición que abrangería aquelas respostas que se sitúan a medio camiño entre os modelos de transmutación e reacción química. Watson et al. (1997) concluíron que os estudantes tenden a activar un modelo de modificación cando se pide que pensen acerca do que lle sucede á cera nunha candeia, e un modelo de transmutación cando se

refire á combustión doutras substancias como a madeira, ou cando se pregunta acerca doutros aspectos da candeia como a mecha. Asemade, estes autores observaron que os participantes eran inconsistentes nas súas explicacións, de maneira que un mesmo suxeito xerou durante a intervención interpretacións comparables a diferentes modelos (Watson et al., 1997). Asemade, estes autores observaron que un gran número de participantes non mencionaban de forma espontánea produtos imperceptibles a nivel sensorial como os gases (Watson et al., 1997). Outros autores como Rahayu e Tytler (1999) tamén estudaron as ideas dos estudantes (8 e 11 anos) arredor da combustión tomando como referencia o marco conceptual de Andersson (1990). Coincidindo con investigacións previas (BouJaoude, 1991; Méheut et al., 1985; Prieto et al., 1992; Watson et al., 1997), estes autores concluíron que as explicacións dos participantes acerca da combustión eran dependentes do contexto, pois empregaban un ou outro razoamento en función do material combustible. Para interpretar a combustión dunha candeia a maioría recorrían a simples descrições, mentres que no caso das lascas de aceiro os participantes construían explicacións comparables ao modelo de modificación (Rahayu & Tytler, 1999).

Para mellorar a comprensión dos estudantes acerca da combustión, Watson et al. (1997) suxiren que o alumnado se involucre en traballos prácticos nos que teña que comparar quecemento, entendido este como un proceso no que a enerxía se transfire desde unha fonte externa aos reactivos, con combustión, entendida esta como un proceso no que a enerxía se transfire aos arredores en forma de luz e calor durante o proceso. Outros autores como Gabel et al. (2001) comparten esta opinión, ao atopar que os estudantes (8 a 13 anos) teñen dificultades para diferenciar entre combustión e descomposición térmica, considerando a negrura dos produtos resultantes da descomposición como evidencias de que as substancias se queiman.

Queda claro que a comprensión do concepto de cambio químico, unha idea estruturante na aprendizaxe da Química, non está exenta de dificultades. A comprensión do cambio químico require conxugar os dominios macroscópico e microscópico (Solsona et al., 2003). O

dominio macroscópico require do uso de conceptos relativos aos sistemas materiais (mesturas, substancias, compostos e elementos) e as súas propiedades, mentres que o dominio microscópico require do manexo das ideas fundamentais que conforman o modelo cinético-corpúscular e o modelo atómico-molecular (Aragón et al., 2013). O modelo cinético-corpúscular permite explicar as propiedades dos sólidos, líquido e gases, e os cambios de estado, asumindo que a materia está constituída por partículas ou corpúsculos de tamaño microscópico que se atopan en constante movemento e entre as que existen forzas de cohesión de diferente intensidade segundo o estado da materia (Caamaño, 2019). Pola súa banda, o modelo atómico-molecular permite interpretar o comportamento químico das substancias asumindo a existencia de substancias elementais, formadas por átomos idénticos, e de compostos, formados pola agrupación de átomos pertencentes a distintos elementos (Caamaño, 2019), de maneira que nunha reacción química se produce a reorganización dos átomos que integran as substancias para formar outras substancias distintas das iniciais.

Desde a perspectiva macroscópica, o cambio químico enténdese como unha transformación na que unha ou varias substancias se transforman noutra ou noutras substancias diferentes. Desde a perspectiva microscópica, o cambio químico enténdese como un proceso no que as partículas se reorganizan. O mundo macroscópico inclúe o tanxible, aquilo ao que se accede por medio dos sentidos, mentres que o mundo microscópico se compón das teorías e modelos da ciencia, aquilo ao que soamente se ten acceso mediante o pensamento. Alén destes dous dominios, para comprender o concepto de cambio químico, é necesario introducir un terceiro nivel de representación, o simbólico, xa que o establecemento dunha relación entre os esquemas de interpretación macroscópico e microscópico esixe empregar representacións tales como diagramas de partículas, símbolos de elementos químicos, fórmulas de compostos e ecuacións químicas. Estes tres niveis ou dominios de representación xa foron descritos por Johnstone (1991) baixo o que se coñece como o triángulo equilátero da Química (ver Figura 5.1).

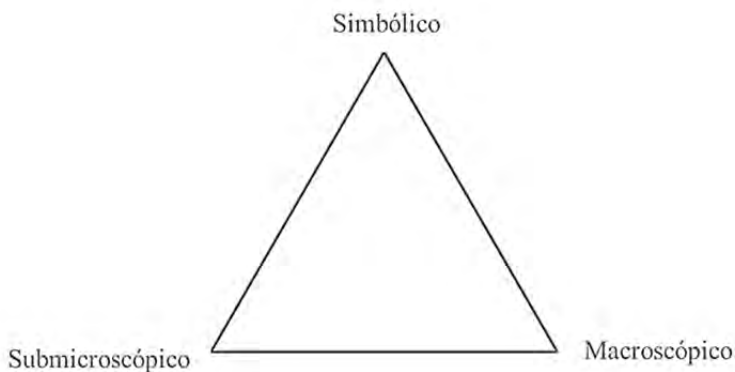


Figura 5.1. Modelo de Johnstone (1991) para os niveis de representación do coñecemento químico

Lacolla et al. (2014) suxiren que as dificultades que posúen os estudantes para comprender a idea de cambio químico proveñen da necesidade de transitar entre os tres niveis de representación da materia para dar conta dos fenómenos observados. Aos estudantes resúltalles complexo conectar estes tres niveis de representación da materia, de aí que constrúan modelos mentais fragmentados ou alternativos se non teñen nin o tempo nin a oportunidade para integrar nos seus esquemas de razoamento os diferentes niveis de representación (Philipp, Johnson & Yeziarski, 2014).

5.2.2 Progresións de aprendizaxe acerca da natureza da materia e as súas transformacións

A preocupación por identificar as concepcións e os modelos alternativos que os estudantes posúen acerca da natureza da materia e as súas transformacións foi dando paso nos últimos anos a un interese crecente por establecer progresións de aprendizaxe que describan como evoluciona a comprensión dos estudantes neste dominio conceptual (Hadenfeldt et al., 2014). De acordo con Duschl, Schweingruber e Shouse (2007) as progresións de aprendizaxe constitúen descriucións de como as ideas dos individuos acerca dun determinado tópico evolucionan cara formas de pensamento cada vez máis sofisticadas ao longo dun amplo lapso de tempo a medida que adquiren coñecementos nese dominio. O límite ou áncora inferior

dunha progresión de aprendizaxe vén determinado polo ideas e formas de razoamento que os estudantes posúen ao entrar ao colexio, é dicir, o límite inferior está determinado polo coñecemento intuitivo que posúen os estudantes antes de ser expostos a unha instrución formal (Duschl et al., 2007). O límite ou áncora superior dunha progresión de aprendizaxe vén definido polo coñecemento que se espera que adquiran os estudantes, neste caso as ideas e modelos da ciencia escolar (Duschl et al., 2007). Os estadios intermedios que conectan os límites inferior e superior das progresións de aprendizaxe veñen condicionados pola metodoloxía educativa que se empregue, sendo o ensino baseado nas prácticas científicas o que máis favorece a evolución cara formas de razoamento cada vez máis sofisticadas (Duschl et al., 2007).

Este interese polo establecemento de progresións de aprendizaxe no eido da materia suscitou un cambio de paradigma na investigación, de aí que os estudos desenvoltos nun determinado momento da escolarización fosen dando paso nos últimos anos a estudos de corte transversal ou lonxitudinal (Hadenfeldt et al., 2014). Mediante un estudo lonxitudinal no que participaron 147 estudantes de 11 a 15 anos, Johnson (1998) concluíu que a comprensión que posúe o alumnado arredor da estrutura da materia pode ser descrita mediante unha secuencia de catro etapas. As etapas que propón este autor, ordenadas por orde crecente de sofisticación, son: (1) a materia como unha substancia totalmente homoxénea; (2) a materia entendida como unha substancia continua que pode incorporar ou conter partículas; (3) a materia composta de partículas; e (4) a materia composta de partículas de cuxa interacción dependen as propiedades da substancia macroscópica da que forman parte (Johnson, 1998). Outros autores como Liu e Lesniak (2005), baseándose nas catro dimensións fundamentais da materia descritas por Andersson (1990), isto é, estrutura e composición, propiedades físicas e cambios físicos, conservación, e propiedades químicas e cambios químicos, estableceron unha progresión que intenta describir como se desenvolve a comprensión do concepto de materia. O primeiro nivel da progresión que propoñen estes autores comprende o desenvolvemento de ideas intuitivas sobre a materia. O segundo nivel

suporía comprender o principio de conservación da materia, mentres que o terceiro nivel se acadaría cando os estudantes son quen de comprender as propiedades e os cambios na materia tanto físicos como químicos desde un punto de vista macroscópico. O nivel máis alto de sofisticación vén determinado pola capacidade de explicar e predicir fenómenos nos que a materia se transforma usando a teoría cinético-molecular e a teoría atómico-molecular (Liu & Lesniak, 2005).

Recentemente, mediante unha revisión sistemática dos traballos publicados no rango comprendido entre 2003-2012 acerca de como os estudantes constrúen o concepto de materia, Hadenfeldt et al. (2014) definiron unha esquema xeral de cinco niveis ordenados xerarquicamente que permite describir o modo en que os estudantes desenvolven unha comprensión acerca de cada un dos catro aspectos fundamentais da materia (ver Táboa 5.1). O primeiro nivel caracterízase pola ausencia dun modelo mental que permita interpretar os cambios na materia. O segundo nivel, que abrangue as descrições das transformacións desde un esquema de representación macroscópico, resulta comparable aos modelos de modificación e transmutación de Andersson (1990). Este nivel incorpora a idea de que as substancias se conservan durante os cambios químicos véndose alteradas unicamente as propiedades físicas, e/ou a idea de que as substancias se transmutan en enerxía ou noutras substancias diferentes. As interpretacións dos cambios químicos de acordo coa teoría atómico-molecular non se producen ata o terceiro nivel da progresión.

No estudo das progresións de aprendizaxe arredor do concepto de cambio químico, a combustión constitúe un dos fenómenos que suscitou un maior interese (e. g. Löfgren & Helldén, 2008; Rahayu & Tytler, 1999). Rahayu e Tytler (1999) desenvolveron unha investigación na que se pedía aos participantes que pensasen o que sucede ao queimar diferentes materiais combustibles e que, trala observación do fenómeno, buscasen unha explicación para o sucedido na que intentasen conciliar calquera diverxencia entre a predición e a observación. A partir da análise das respostas proporcionadas por 73 estudantes de 6 a 12 anos, estes autores inferiron unha progresión que

describe como os estudantes desenvolven a súa comprensión acerca do fenómeno de combustión. O límite inferior da progresión vén determinado polas concepcións intuitivas dos estudantes nas que as substancias posúen unha identidade independente dos obxectos dos que forman parte (Rahayu & Tytler, 1999).

Táboa 5.1. Niveis de progresión descritos por Hadenfeldt et al. (2014) para a interpretación dos cambios químicos na materia

Niveis de progresión descritos por Hadenfeldt et al. (2014)
Nivel 5. Os estudantes empregan conceptos como a configuración electrónica dos elementos para explicar o comportamento das substancias durante as transformacións químicas. Tamén recoñecen a existencia de factores como a presión ou a temperatura que poden influír no transcurso dunha reacción química.
Nivel 4. Os estudantes interpretan as transformacións químicas como unha reorganización de partículas e enlaces. Posúen un modelo para o cambio químico consistente co modelo da ciencia escolar que permite aos estudantes interpretar reaccións elementais en base ao modelo atómico-molecular, así como identificar os tipos de enlaces presentes nos produtos.
Nivel 3. Os estudantes interpretan as transformacións químicas como reorganización de partículas. Sen embargo, seguen sen posuír un modelo para o cambio químico que permita aos estudantes explicar os procesos que teñen lugar.
Nivel 2. Os estudantes interpretan as transformacións químicas en termos macroscópicos baseándose nos cambios perceptibles a través dos sentidos, de aí que os estudantes recoñecen as transformacións químicas na materia mediante a aparición dunha nova substancia con propiedades diferentes aos reactivos. Neste nivel de comprensión son recorrentes as concepcións alternativas que consideran que os reactivos transmutaron noutra substancia ou enerxía, ou que os reactivos seguen estando presentes ao concluír a reacción química baixo unha aparencia distinta, habéndose modificado unicamente as súas propiedades físicas.
Nivel 1. Os estudantes non teñen un modelo apropiado para interpretar ou recoñecer as transformacións químicas na materia cientificamente, de aí que describan o que observan.

Outros autores como Johnson (2013) obtiveron resultados semellantes ao concluír que o punto de partida cara unha comprensión do cambio químico vén marcado pola diferenciación entre material e obxecto, de xeito que o alumnado comprenda que un mesmo material pode formar parte de diferentes obxectos e que obxectos similares poden estar feitos de distintos materiais. O seguinte nivel da progresión de Rahayu e Tytler (1999) caracterízase pola aplicación da idea de conservación de substancia, de aí que as transformacións da materia sexan interpretadas en termos de desprazamento, modificación, mestura ou separación de substancias. Dito nivel resulta

comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990) segundo o cal as substancias se conservan durante os cambios na materia, véndose alteradas unicamente propiedades físicas como a cor ou o estado de agregación. O terceiro nivel da progresión, que Rahayu e Tytler (1999) cualifican como transformación, resulta comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990). Neste nivel emerxe unha incipiente idea de reacción química na que se considera que unha ou varias substancias iniciais se transforman noutras substancias diferentes sen conservarse a identidade atómica. O cuarto estadio da progresión inclúe a idea de interacción química entre os reactivos para dar lugar a novos produtos conservándose a identidade a nivel atómico, mentres que o nivel máis alto de sofisticación supón unha interpretación do fenómeno de combustión baseada no modelo atómico-molecular da materia (Rahayu & Tytler, 1999).

Mediante un estudo de tipo lonxitudinal, Löfgren e Helldén (2008) fixeron un seguimento de 25 estudantes coa finalidade de coñecer como evoluciona a súa comprensión acerca das transformacións na materia dos 7 aos 13 anos. No que respecta á combustión dunha candeia, estes autores sinalan que nas primeiras interpretacións do fenómeno (7 a 8 anos) impera unha visión comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990), de aí que sexan recorrentes as respostas nas que se fai referencia a que a cera unicamente se funde ou escorre. Conforme aumenta a idade dos participantes (9 a 11 anos), obsérvase unha maior tendencia a mencionar que a cera se transforma en fume ou gas pasando ao aire onde arde. As interpretacións máis sofisticadas (12 aos 13 anos) incorporan a idea de que durante a combustión a cera se transforma noutras substancias diferentes, e obsérvase un intento por describir certas partes do proceso integrando o concepto de molécula (Löfgren & Helldén, 2008).

Queda claro que, con independencia da ruta ou traxectoria de aprendizaxe seguida de cara ao desenvolvemento de formas de razoamento cada vez máis complexas e comparables ao modelo da ciencia escolar, o primeiro estadio vén determinado por unha comprensión intuitiva baseada nos cambios macroscópicos observables (Löfgren & Helldén, 2008).

5.3 OBXECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Neste capítulo darase resposta ao Obxectivo 2 (O2) desta tese, o cal fai referencia a *identificar os modelos mentais que empregan os participantes da educación secundaria para interpretar fenómenos nos que a materia se transforma*. Este obxectivo xeral desagregase en dúas preguntas de investigación:

RQ3. Que modelos mentais empregan os participantes de educación secundaria para predicir e explicar fenómenos nos que a materia se transforma?

RQ4. En que medida a observación, a reflexión e a discusión sobre os fenómenos nos que a materia se transforma contribúen a unha evolución dos modelos mentais iniciais dos participantes?

5.4 ESTUDO DE CASOS 3 (EC3): ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA EN ESPAÑA

Neste apartado da tese abórdase o Estudo de Casos 3 (EC3) desenvolto no 4º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) nun instituto de titularidade pública do interior de Galicia. En segundo lugar, preséntanse as experiencias propostas e especificase a metodoloxía empregada para a recollida e a posterior análise de datos. En último lugar, discútense os resultados e expóñense as conclusións máis relevantes.

5.4.1 Participantes e contexto

Neste apartado descríbese o contexto e o perfil dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) desenvolto nun instituto de titularidade pública situado nunha cidade do interior da Comunidade Autónoma de Galicia. Entre a formación educativa que oferta este centro atópase a Educación Secundaria Obrigatoria (ESO), dúas ramas do Bacharelato e varios ciclos Formativos de Grao Superior pertencentes a diferentes familias profesionais.

O centro vértébrase nunha cidade de gran tradición estudantil, contando ademais cunha ampla e variada oferta cultural. O número de habitantes sitúase preto dos 100000 e as principais actividades

económicas do centro urbano e da contorna vincúlanse principalmente ao sector servizos, seguido da industria e a construción.

Neste estudo de casos participaron estudantes de dúas clases do 4º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (15 a 16 anos). Todo o alumnado de ámbalas dúas clases se atopaba cursando a materia de Física e Química, de carácter optativo neste último curso da escolarización obrigatoria en España. Dun total de 40 posibles candidatos, soamente dez estudantes, oito rapazas e dous rapaces, accederon a participar voluntariamente na intervención.

A recollida de datos neste grupo de estudantes desenvolveuse ao longo do mes de marzo do ano 2015, unha vez obtidos os permisos correspondentes tanto do director do centro como dos pais, nais ou titores legais do alumnado participante. Por outra parte, co fin de garantir o anonimato dos estudantes, os seus nomes foron substituídos por pseudónimos nos que unicamente se conservou o xénero. Os pseudónimos adoptados recóllense na Táboa 5.2 e como se pode observar, cada un deles comeza pola letra dos grupos de traballo nos que foron distribuídos para a realización das experiencias. Describirase con máis detalle esta distribución en grupos na sección relativa á recollida de datos.

Táboa 5.2. Participantes no Estudo de Casos 3 (EC3) desenvolto no 4º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (15-16 anos) en España

Grupo G	Grupo H	Grupo I
Gloria	Hugo	Idaira
Graciela	Héctor	Irene
Gisela	Helena	Iris
		Ingrid

En canto ao contexto educativo, a entrada en vigor da *Lei Orgánica para a Mellora da Calidade Educativa* (MECD, 2013), máis coñecida como LOMCE, non se fixo efectiva nos cursos pares da Educación Secundaria Obrigatoria ata o curso académico 2016-17, de xeito que no momento da intervención o currículo desta etapa educativa seguía rexido polo *Decreto 133/2007, de 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2007a). Nos dous primeiros cursos da educación secundaria obrigatoria os contidos

de ciencias integrábanse organizados por bloques na materia de Ciencias da Natureza, co fin de proporcionar ao alumnado unha aproximación de conxunto aos fenómenos naturais. Para o primeiro curso da educación secundaria, os contidos relativos á materia e ás súas transformacións incluíanse no segundo bloque. Neste bloque facíase referencia a que o alumnado había de ser quen de identificar os cambios de estado e empregar o modelo cinético-molecular para interpretar os estados de agregación, e certos procesos como as dilatacións e os cambios de estado. No currículo da materia de Ciencias da Natureza para o segundo curso da educación secundaria aparecía a enerxía relacionada cos cambios nos sistemas materiais como concepto estruturante do segundo bloque de contidos. Nos dous últimos cursos da educación secundaria, no decreto de currículo diferenciábase en Bioloxía e Xeoloxía e Física e Química. No terceiro curso da educación secundaria obrigatoria a materia de Física e Química tiña carácter obrigatorio, mentres que no cuarto curso constituía unha materia optativa. No segundo bloque da materia de Física e Química do terceiro curso contemplábase a estrutura da materia e os seus cambios. Os contidos deste bloque facían referencia a que o alumnado tiña que ser quen de empregar o modelo cinético-molecular da materia para interpretar certos fenómenos como os cambios de estado ou os procesos de dilatación. Asemade, incluía a idea de conservación, tanto para a masa como para os átomos nas reaccións químicas, e propoñía a realización experimental dalgunhas transformacións frecuentes na vida diaria como as reaccións de combustión. En canto ao cuarto curso, a estrutura e as propiedades das substancias eran incluídas no cuarto bloque de contidos. Os contidos deste bloque facían referencia a que o alumnado tiña que interpretar as propiedades das substancias en base ao tipo de enlace entre os átomos (Xunta de Galicia, 2007a).

No caso particular dos estudantes que participaron neste estudo de casos (EC3), cómpre mencionar que no momento en que tivo lugar a intervención, na materia de Física e Química estaban a tratar diferentes contidos relativos aos cambios químicos como a estequiometría e o mecanismo das reaccións químicas segundo a teoría cinética das colisións. Ata entón as reaccións químicas

soamente foran tratadas de xeito cualitativo e desde un punto de vista macroscópico.

5.4.2 Descrición das experiencias propostas

As experiencias seleccionadas foron a combustión dunha candeia ao tapala cun recipiente e a descomposición térmica do azucre (García-Rodeja et al., 1987). Ambas encádranse dentro das experiencias denominadas interpretativas coas que se pretende animar aos estudantes a emitir hipóteses para tratar de explicar os fenómenos observados, permitindo así mesmo explorar as súas ideas previas (Caamaño, 2011). Estas experiencias xa foron amplamente descritas no apartado 4.4.2 do Capítulo 4 desta tese.

5.4.3 Toma de datos

Para facilitar a recollida de datos, considerouse conveniente distribuír o alumnado en tres grupos de tres a catro membros. Para poder identificar inequivocamente a cada grupo de traballo máis aos seus integrantes, cada grupo foi nomeado cunha letra e ao alumnado que o conformaba foille outorgado un pseudónimo que comezaba por esa mesma letra. Ademais, de cara a configuración dos grupos intentouse na medida do posible que estes foses heteroxéneos en canto a motivacións, actitude e rendemento académico, coa intención de que a discusión fose o máis frutífera posible. En total resultaron tres grupos nomeados coas letras G, H e I (ver Táboa 5.2).

Por outra banda, neste estudo de casos distínguense dúas fontes de datos, as producións escritas dos participantes e as transcricións das conversas. Para a recollida das producións escritas deseñouse un cuestionario con preguntas abertas empregando unha estratexia didáctica desenvolta por White e Gunstone (1992) que se coñece como POE (Predicir, Observar, Explicar). Para o fenómeno consistente en tapar unha candeia acesa cun recipiente os estudantes debían responder ás cuestións que se recollen no Cadro 5.1.

Cadro 5.1. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de educación secundaria de España (EC3) durante a combustión dunha candea

Predición

Que cres que sucederá cando unha candea acendida se cobre cun recipiente?
Por que cres que ocorrerá iso?

Observación

Anota o que observas cando a candea se cobre.

Explicación

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.

Para a descomposición térmica do azucre os estudantes tiñan que responder a cuestións semellantes (ver Cadro 5.2.).

Cadro 5.2. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de educación secundaria de España (EC3) durante a descomposición térmica do azucre

Predición

Que cres que sucederá cando o azucre contido nun tubo de ensaio se somete á acción da calor?
Por que cres que ocorrerá o que previches?

Observación

Anota o que observas cando o azucre se somete a unha fonte de calor.

Explicación

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.

Asemade, efectuáronse gravacións en audio, co gallo de rexistrar as discusións entre os participantes, e en vídeo, utilizado como un apoio para identificar inequivocamente a intervención de cada estudante, así como rexistrar as accións entre os participantes e as interaccións co material de traballo.

En canto ao desenvolvemento da intervención, esta tivo lugar no laboratorio de Física do propio centro, onde os participantes dispoñían do material suficiente para executar cada unha das experiencias. Para o desenvolvemento de cada unha das actividades, os estudantes dispuxeron dunha sesión de 30 minutos. Durante a intervención, estiveron presentes no laboratorio a investigadora e a profesora que

impartía aos estudantes a materia de Física e Química. O papel de ambas consistiu en estimular a discusión naqueles grupos nos que fose pouco frutífera, e resolver dúbidas en relación aos aspectos procedimentais das experiencias. O protocolo de actuación descríbese a continuación. En primeiro lugar, indicouse aos participantes que se ía tapar unha candeia acesa cun recipiente de vidro e pediuse que escribisen no cuestionario o que pensaban que ía suceder, dando unha explicación para a súa predición. Informouse aos estudantes que tiñan que cubrir o cuestionario de maneira individual, pero que podían discutir as respostas, tanto durante esta primeira fase da intervención como nas posteriores. Unha vez finalizada a fase de predición, o alumnado executou o experimento, e solicitouse que anotasen no segundo apartado do cuestionario todas as observacións. Durante a realización da experiencia facilitouse ao alumnado diferente material. Así, contaron con diversas candeas e recipientes de múltiples tamaños. Por último, pediuse aos participantes que escribisen no último apartado do cuestionario unha explicación plausible para o acontecido. O protocolo de actuación seguido no caso da descomposición térmica do azucre foi semellante.

5.4.4 Ferramenta de análise de datos

Para coñecer os modelos mentais que empregan os estudantes para interpretar aqueles fenómenos nos que a materia se transforma, e responder así á primeira pregunta de investigación (RQ3) do Obxectivo 2 (O2) desta tese, foron adoptados modelos xa descritos na literatura para a interpretación dos cambios químicos (Andersson, 1990; Watson et al, 1997). Para tal fin, en primeiro lugar, procedeuse á transcripción literal das gravacións conxugando a escoita do audio coa visualización dos vídeos a fin de intentar capturar non só a discusión, que constituiría o modo de representación verbal dos modelos mentais (Gilbert, 2004), senón tamén as interaccións entre pares e co material de traballo.

En segundo lugar, as transcripcións de cada un dos eventos foron divididas en episodios (Hogan et al., 1999; Van Dijk, 1981). Desde a perspectiva da análise do discurso, un episodio está constituído por unha secuencia coherente de intervencións dun discurso definida en

termos dalgunha característica común, ben sexa en termos de idénticos participantes, momento temporal, localización, evento ou acción (Hogan et al., 1999; Van Dijk, 1981). Neste senso, Van Dijk (1981) sinala que un episodio ha de concibirse como a parte dun todo cun principio e un final que involucra unha secuencia de eventos ou accións que lle outorguen unidade e independencia, de xeito que se poida distinguir claramente doutros episodios que compoñan o discurso global. Porén, en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos, considerouse conveniente dividir o discurso transcrito en tres episodios segundo as intervencións formasen parte da fase de predición, observación ou explicación. A continuación, establecéronse quendas de fala ao longo do discurso transcrito. Hogan et al. (1999) entenden por quenda de fala cada unha das transicións que acontecen entre un interlocutor e o seguinte dentro dunha serie de interaccións comunicativas.

Por outra banda, posto que as actividades propostas demandaban que os estudantes, en grupos de traballo, empregasen e producisen modelos que lles permitisen interpretar cada un dos fenómenos, durante a discusión foron construídas varias explicacións. Deste xeito, tras establecer os episodios e as quendas de fala, o seguinte paso da análise de datos consistiu en definir os criterios que permitisen identificar aquelas situacións nas que os participantes estaban a elaborar explicacións. A definición de explicación adoptada nesta tese concorda coa de Christidou (2005), quen entende esta como un fragmento coherente dunha intervención que dá conta do comportamento dun obxecto ou unha substancia, ou do mecanismo subxacente ao fenómeno de interese. Posto que as actividades propostas demandaban que os estudantes, en grupos de traballo, empregasen e producisen modelos que lles permitisen interpretar cada un dos fenómenos, durante a discusión foron construídas varias explicacións. De acordo con Oliveira et al. (2015), por medio dunha explicación os suxeitos poden:

- Definir ou aclarar o significado de algún termo ou expresión.
- Describir un razoamento.
- Describir as características do modelo (ou partes do modelo) que activan para interpretar o fenómeno.

- Establecer relacións de tipo causa-efecto entre as entidades ou ideas relativas ao fenómeno que están tentando modelar.

Posteriormente, en base aos elementos explicativos ou ideas clave (Fisher, 1998) que o alumnado incorporou naquelas intervencións relacionadas coa interpretación do fenómeno, foron definidos os modelos expresados polos estudantes durante o desenvolvemento da tarefa adoptando como referencia modelos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997). Para facilitar a comprensión da ferramenta de análise utilizada, na Táboa 5.3 ilústrase cada modelo con exemplos descritos na literatura en relación aos fenómenos de combustión e descomposición térmica. No seguinte apartado deste capítulo onde se aborda a presentación e discusión dos resultados, cada un dos modelos ilústrase en base aos datos obtidos nesta investigación.

Como se sinala na Táboa 5.3, no modelo de desaparición considérase que as substancias desaparecen ou se transforman en nada (Andersson, 1990). De acordo con Watson et al. (1997), o modelo de desaparición vén caracterizado por un pensamento preoperacional. En cambio, estes autores sinalan que tanto o modelo de modificación como o de transmutación requiren dun razoamento causal de tipo lineal.

O modelo de modificación implica a transformación reversible dunha substancia cunhas propiedades físicas determinadas na mesma substancia con outras propiedades diferentes (Andersson, 1990). Este cambio de propiedades pode vir desencadeado pola intervención de axentes como a calor. O modelo de transmutación implica a transformación dunha substancia noutra completamente diferente sen conservación da identidade a nivel atómico (Andersson, 1990). O modelo de reacción química, consistente co modelo da ciencia escolar, supón recoñecer a interacción química que se produce entre os reactivos para xerar novas substancias.

Táboa 5.3. Modelos para a interpretación dos cambios químicos (elaboración propia, a partir de, Andersson, 1990, Löfgren & Helldén, 2008, Raviolo et al., 2011, Vázquez & García-Rodeja, 2005, e Watson et al., 1997)

Modelos para a interpretación dos cambios químicos (Andersson, 1990; Watson et al., 1997)	Exemplos
Desaparición. A nivel macroscópico, as substancias desaparecen. A nivel microscópico, os átomos desaparecen.	«Cando arde creo que se volve vapor, pero evapórase dalgún modo e logo desaparece» (Löfgren & Helldén, 2008)
Modificación. A nivel macroscópico, as substancias son as mesmas pero muda algunha das súas propiedades físicas como o estado de agregación. A nivel microscópico, os átomos mudan de tamaño, cor, estado físico, etc.	«Fúndese (a cera da candeia) e seca de novo» (Löfgren & Helldén, 2008) «O que era sólido, o azucre, pasou a líquido» (Vázquez & García-Rodeja, 2005)
Transmutación. A nivel macroscópico, as substancias transfórmanse noutras substancias diferentes, en calor ou en lume. A nivel microscópico, un átomo transfórmase noutro átomo diferente.	«A chama extinguiuse pola falta de osíxeno» (Watson et al., 1997) «Descomponse e convértese en cinzas» (Watson et al., 1997) «E, de onde sae ese líquido?» «Pola chama que dá algo de humidade ao vaso, a chama estaba quente e saíu humidade» (Vázquez & García-Rodeja, 2005)
Reacción química. A nivel macroscópico, ten lugar unha interacción entre o reactivo ou reactivos formándose un novo produto ou produtos. A nivel microscópico, ten lugar unha redistribución dos átomos ou ións formándose novas estruturas (Raviolo et al., 2011).	«Obtéñense cinzas que son o resultado dunha reacción química entre a madeira e o osíxeno» (Watson et al., 1997)

A definición dos elementos explicativos ou ideas clave a ter en conta para categorizar os modelos que activan os estudantes durante a interpretación da combustión dunha candeia constitúen unha adaptación dos indicadores establecidos no traballo de Watson et al. (1997). Pola contra, os elementos explicativos ou ideas clave que se consideran para a descomposición térmica do azucre foron xurdindo en interacción cos datos nunha análise iterativa debido a que para este fenómeno non foron achados na literatura referentes empíricos nos que poder basearse (ver Táboa 5.4).

Táboa 5.4. Elementos ou ideas clave (Fisher, 1998) empregados para identificar os modelos que activan os estudantes para interpretar a combustión dunha candea e a descomposición térmica do azucre (elaboración propia, a partir de, Watson et al., 1997)

Modelos para a interpretación dos cambios químicos	Elementos ou ideas clave para a combustión dunha candea (adaptado de Watson et al., 1997)	Elementos ou ideas clave para a descomposición térmica do azucre
Desaparición	D1: A substancia desaparece ou transfórmanse en nada.	D1: A substancia desaparece ou transfórmanse en nada.
Modificación	M1: O osíxeno (ou aire) non participa no cambio. M2: O cambio é reversible. M3: A chama/lume constitúe o axente responsable da modificación. M4: As substancias mudan as súas propiedades físicas (cor, estado de agregación...), pero seguen sendo as mesmas substancias. M5: A masa pode conservarse.	M1: A calor constitúe o axente responsable da modificación. M2: O azucre muda as súas propiedades físicas (cor, estado de agregación...), pero segue sendo a mesma substancia. A nivel microscópico, os átomos presentes no azucre mudan de estado físico, cor...
Transmutación	T1: Non existe interacción entre o combustible e o osíxeno/aire. T2: O osíxeno/aire é necesario para "alimentar" a chama ou "mantela viva". T3: A materia transmútase en calor/lume e/ou viceversa. T4: A masa pode non conservarse. T5: Unha substancia transfórmanse noutra substancia distinta, sen manterse a identidade a nivel atómico.	T1: O azucre convértese noutra(s) sustancia(s) distinta(s), sen manterse a identidade a nivel atómico.
Reacción química	RQ1: Existe unha interacción química entre o combustible e o osíxeno/aire formándose novas substancias. RQ2: Os átomos e a masa consérvanse.	RQ1: O azucre transfórmanse noutras substancias, conservándose a identidade dos elementos a nivel atómico. RQ2: Os átomos e a masa consérvanse.

Por outra banda, para coñecer en que medida a observación, a reflexión e a discusión sobre os fenómenos nos que a materia se

transforma contribúen ao desenvolvemento dos modelos mentais iniciais dos estudantes, e dar así resposta á segunda pregunta de investigación (RQ4) do Obxectivo 2 (O2) desta tese, estableceuse unha relación entre os modelos empregados para a interpretación dos cambios químicos (Andersson, 1990; Watson et al., 1997) e os niveis propostos no traballo de Hadenfeldt et al. (2014) que constitúen unha xerarquía ou progresión de aprendizaxe acerca da comprensión das propiedades químicas das substancias e os cambios químicos na materia (ver Táboa 5.5). Asemade, o contraste destes niveis de progresión permitirá establecer comparacións entre o desempeño do alumnado de secundaria de España e Suecia no Capítulo 6 desta tese.

Táboa 5.5. Niveis de progresión na interpretación dos cambios químicos e modelos asociados a cada nivel (elaboración propia, a partir de, Andersson, 1990, Hadenfeldt et al., 2014, e Watson et al., 1997)

Modelos para o cambio químico adaptados de Andersson (1990) e Watson et al. (1997)	Niveis para a progresión da comprensión das propiedades químicas e os cambios químicos descritos por Hadenfeldt et al. (2014)
Reacción química	Nivel 3. Os estudantes describen a reacción química como reorganización de partículas. Sen embargo, non posúen un modelo que lles permite describir o proceso de ruptura e formación de novos enlaces.
Modificación/ Transmutación	Nivel 2. Os estudantes recoñecen as reaccións químicas mediante a aparición dunha nova substancia con propiedades distintas ás dos reactivos. Son frecuentes as concepcións alternativas que fan referencia a que os reactivos se transmutan en enerxía, ou que os reactivos aínda están presentes ao concluír o proceso, habéndose modificado unicamente as súas propiedades físicas.
Desaparición	Nivel 1. Os estudantes non teñen un modelo apropiado para describir ou recoñecer reaccións químicas científicamente. Describen o que observan.

Por outra banda, para fornecer de fiabilidade e validez a estudos interpretativos como o que se presenta nesta tese, recorreuse á triangulación tanto metodolóxica como de investigadores (Moreira, 2002). A triangulación metodolóxica consistiu na confrontación de diferentes fontes de datos do estudo, neste caso os datos recollidos a

través dos cuestionarios, e as gravacións de audio e vídeo. En relación á triangulación de investigadores, a clasificación das respostas en modelos e en niveis de progresión foi contrastada, discutida e analizada por dúas investigadoras da área, a autora e a directora da tese, ata acadar un consenso.

5.4.5 Resultados e discusión

Neste apartado preséntase a análise do discurso para cada un dos grupos, a través da cal se identifican os modelos que activan os estudantes para a interpretación dos cambios químicos, e se avalía en que medida estes modelos se aproximan ao modelo da ciencia escolar. De maneira similar a outros traballos (Costa, 2015), as interaccións preséntanse en cadros con tres columnas, nas que se inclúen as quendas de fala, o diálogo transcrito e a análise das intervencións co fin de describir a intencionalidade ou o significado de cada intervención.

5.4.5.1 Combustión dunha candeia: Análise do discurso do grupo G (EC3)

Durante a primeira fase da intervención, na que se solicita ás estudantes establecer predicións acerca da combustión dunha candeia no interior dun recipiente, non se estableceu ningún tipo de discusión entre as participantes, de aí que as producións escritas das estudantes constitúan a única fonte de datos da que se dispón. En cambio, a discusión nas seguintes fases da intervención foi máis frutífera, de aí que se combine a análise do discurso coa análise das respostas escritas. Debido á ausencia de intervencións durante a fase de predición, na análise do discurso deste evento distínguense unicamente dous episodios (observación e explicación). O primeiro episodio, integrado por aquelas intervencións nas que o alumnado executa e observa o fenómeno, comprende as quendas de fala 1 a 17. O segundo episodio deste evento, integrado polas intervencións nas que as estudantes constrúen unha explicación para o observado, intentando conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición inicial, abrangue da quenda de fala 18 ata a 96.

Predición

Na primeira pregunta do cuestionario solicitábase ás estudantes que tomasen nota do que pensaban que sucedería ao tapar unha candeia acendida cun recipiente. Todas as participantes deste grupo escribiron que a candeia se ía apagar. Coa seguinte cuestión da fase de predición pretendíase que as participantes xustificasen a súa predición. Ao contestar a esta pregunta, unha alumna, Gisela, dá unha xustificación que se pode considerar indicadora de que está activando un modelo de desaparición (as substancias desaparecen ou se transforman en nada). As demais integrantes deste grupo, Gloria e Graciela, dan respostas que se poden considerar indicadoras de que están activando un modelo de transmutación (as substancias convértense noutras substancias, en calor ou en fogo).

A estudante que activou o modelo de desaparición, correspondente ao nivel máis baixo de progresión para a comprensión dos cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014), fai referencia a que o osíxeno desaparece como se pasase a formar parte da nada (elemento ou idea clave D1), dando unha resposta semellante a aquelas que Watson et al. (1997) adscribiron ao modelo de desaparición (ver Figura 5.2).

Que cres que sucederá cando unha candeia acendida se cobre cun recipiente?

Se va apagando.

Por que cres que ocorrerá iso?

Porque el oxígeno se va consumiendo y cuando todo el oxígeno desaparece, la vela se apaga.

Figura 5.2. Resposta escrita de Gisela durante a fase de predición

Dentro do modelo de transmutación, o elemento ou idea clave ao que fixeron referencia nas respostas escritas foi a do osíxeno como “alimento” para a chama (T2). Estas respostas tamén poden ser interpretadas como unha transmutación do osíxeno en chama (Watson et al., 1997). As participantes que activaron este modelo durante a fase de predición, Gloria e Graciela, interpretaron a presenza de osíxeno como necesaria para producir a combustión, pero non fixeron referencia a unha interacción química entre o combustible da candeia e

o osíxeno do aire. A modo de exemplo, reproducéase a resposta escrita de Graciela (ver Figura 5.3).

Que cres que sucederá cando unha candea acendida se cobre cun recipiente?
Se apaga.

Por que cres que ocorrerá iso?
Porque a vela aliméntase de osíxeno, e cando o consome todo, se apagará.

Figura 5.3. Resposta escrita de Graciela durante a fase de predición

Observación

Nas seguintes etapas da estratexia POE (Predicir, Observar, Explicar) adoptada para a recollida de datos (White & Gunstone, 1992) conxúgase a análise do discurso coa análise dos datos obtidos a través dos cuestionarios. Durante o primeiro episodio da análise do discurso deste evento as estudantes executaron e observaron o que sucede durante a combustión dunha candea ao cubrila cun recipiente. A duración desde evento esténdese da quenda de fala 1 a 17. Nas quendas de fala 5 a 8 prodúcense as primeiras observacións (ver Cadro 5.3). Na quenda de fala 6 obsérvase como unha alumna, Graciela, fai referencia a que a candea se apaga, e na quenda de fala 7, outra alumna, Gisela, menciona que se produce embazamento no recipiente que utilizaron para tapar a candea.

Cadro 5.3. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
5	[Gloria]: Vale, ¿qué observamos?	Solicita observacións.
6	[Graciela]: Pues que se ha apagado.	Realiza observacións.
7	[Gisela]: Que se empaña.	Realiza observacións.
8	[Gloria]: Sí.	Comparte as observacións.

Nas quendas de fala 9 a 14 obsérvase como unha estudante, Gloria, semella querer describir o fenómeno como unha combustión, pero ten dificultades para lembrar o termo (ver Cadro 5.4). Na quenda de fala 11 obsérvase como Gloria demanda axuda para intentar describir o que sucede ao tapar a candea cun recipiente empregando para elo un termo específico (enténdese que probablemente se refira

ao termo “combustión”), ao que Gisela responde que se acaba o osíxeno. Esta intervención segue a ser consistente coa idea expresada por esta alumna durante a fase de predición segundo a cal o osíxeno desaparece ou pasa a formar parte da nada (elemento ou idea clave D1), de aí que sexa probable que esta alumna siga a activar un modelo de desaparición para interpretar esta transformación. Algo semellante ocorre no caso de Graciela, quen na quenda de fala 14 expresa a idea de que a chama se alimenta de osíxeno (elemento ou idea clave T2). Esta idea, indicadora de que a alumna está a activar un modelo de transmutación, xa fora expresada durante a fase de predición.

Cadro 5.4. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de observación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
9	<i>[Gloria]: No me sale la palabra.</i>	Pide a colaboración do grupo para describir o fenómeno.
10	<i>[Gisela]: ¿De qué?</i>	Solicita esclarecemento.
11	<i>[Gloria]: De esto, de que:: en plan, ¿qué pasa? No me sale la palabra.</i>	Pide a colaboración do grupo para describir o fenómeno.
12	<i>[Gisela]: Se acaba el oxígeno ((risas)).</i>	Propón unha explicación para o fenómeno baseada na desaparición da substancia.
13	<i>[Gloria]: Ya, pero había otra forma de decirlo. No sé.</i>	Suxire explicar o fenómeno empregando outros termos.
14	<i>[Graciela]: La llama se alimenta de oxígeno y el oxígeno se acaba y entonces se apaga.</i>	Propón unha explicación para o fenómeno baseada nunha transmutación.

Por outra banda, en relación aos cuestionarios, as participantes soamente fixeron referencia a que a candeia se apagaba (ver Figura 5.4), desconsiderando así a observación relativa á condensación de vapor de auga sobre as paredes do recipiente, debido probablemente á dificultade de encaixar esta observación na predición inicial (Chinn & Brewer, 1998).

Anota o que observas cando a candeia se cobre.
 Mantense encendida ata que pouco a pouco se fai máis pequena e finalmente se apaga.

Figura 5.4. Resposta escrita de Graciela durante a fase de observación

Explicación

Durante o segundo episodio da análise do discurso deste evento as estudantes intentaron construír unha explicación plausible para o observado. Este episodio esténdese da quenda de fala 18 a 96. Cando a investigadora pide que expliquen o acontecido, na quenda de fala 19 obsérvase a construción dunha explicación por parte de Graciela, quen sinala que a candeia se apagou pola falta de osíxeno (ver Cadro 5.5). Na quenda de fala 24 vese que a explicación desta alumna segue a ser consistente co modelo de transmutación, ao engadir nesta intervención a idea de que a cantidade de osíxeno no recipiente acada uns valores insuficientes para “alimentar” ou manter “viva” a chama. Na quenda de fala 21 obsérvase como outra alumna, Gisela, considera que no recipiente chega a esgotarse todo o osíxeno¹.

Cadro 5.5. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
18	<i>[Investigadora]: Vós xa puxestes todo? Xa acabastes de contestar? E que puxestes, a ver?</i>	Solicita explicacións.
19	<i>[Graciela]: Pois que a vela se apaga. Por falta de oxígeno.</i>	Propón unha explicación para o fenómeno.
20	<i>[Investigadora]: Acábase o osíxeno de todo, pensades?</i>	Solicita explicacións.
21	<i>[Gisela]: Sí.</i>	Asume que todo o osíxeno se esgota no interior do recipiente.
24	<i>[Graciela]: É dicir, non todo. Pero o suficiente para que a vela non teña oxígeno ((risas)). O suficiente para que a vela non se poida seguir alimentado de oxígeno.</i>	Propón unha explicación para o fenómeno baseada nunha transmutación.

Nas quendas de fala 25 a 30 obsérvase como as estudantes constrúen unha explicación acerca da condensación que se produce sobre as paredes do recipiente que cobre a candeia (ver Cadro 5.6). Na quenda de fala 28 prodúcese a intervención de Graciela, quen establece que o vidro se embaza debido a unha diferenza de temperaturas. Trátase dunha interpretación parcial, pois esta alumna

¹ Desde o punto de vista científico, non pode sosterse a combustión dunha candeia nunha atmosfera que conteñan menos do 14% en volume de osíxeno.

non aclara a procedencia da auga. Estes resultados son semellantes aos descritos na literatura, xa que outros autores (Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997) xa expuxeron as dificultades dos estudantes para identificar o dióxido de carbono e a auga como produtos da combustión. O feito de que as estudantes non considerasen de forma espontánea a observación do bafo como unha proba na que sustentar as súas explicacións pode deberse ao reto que supón para o alumnado incorporar nova información aos seus esquemas de razoamento, de modo que no canto de reconstruír os seus modelos mentais por outros máis próximos aos modelos da ciencia escolar, optan por desconsiderar aquela información que pon en entredito a robustez dos seus modelos. Os modelos poden guiar pero tamén condicionar o modo en que se interpreta a nova información como sinalan os achados no ámbito da psicoloxía cognitiva (e.g. Vosniadou, 2002).

Cadro 5.6. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
25	<i>[Investigadora]: Vale, e non vistes nada máis á parte de que a vela se apagaba?</i>	Solicita observacións.
26	<i>[Graciela]: Que se empaña o cristal.</i>	Realiza unha observación.
27	<i>[Investigadora]: E por que?</i>	Solicita unha explicación para a observación.
28	<i>[Graciela]: A diferenza de temperaturas.</i>	Explica a observación.
29	<i>[Investigadora]: Vale, entón ti dis que é pola diferenza de temperaturas. Vós pensades que é por eso? ((dirixíndose ás demais integrantes do grupo)).</i>	Solicita unha explicación ao resto do grupo.
30	<i>[Gisela]: Sí.</i>	Concorda coa explicación da compañeira.

Nas quendas de fala 33 a 44 obsérvase como as estudantes mudan os seus modelos previos por dous modelos para a interpretación do cambio químico diferentes segundo o material da candeia no que centren a súa atención (ver Cadro 5.7). Nas quendas de fala 33 a 38 obsérvase como as estudantes activan un modelo de modificación ao interpretar que a cera soamente se derrete. As ideas ou elementos clave que definen este modelo e están presentes no discurso das estudantes son aquelas que contemplan ao fogo como o axente responsable do cambio de propiedades físicas da substancia (M3), e

consideran que a cera pasa do estado sólido ao estado líquido, pero segue sendo a mesma substancia (M4).

Cadro 5.7. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
33	<i>[Investigadora]: Claro, que credes que pasa, se é un cambio químico, un cambio físico... Vós se colocades a vela por exemplo nunha balanza non? Ó principio da combustión e despois, credes que ó cabo de levar un tempo ardendo pesará o mesmo?</i>	Formula ao grupo unha pregunta para coñecer se están pensando en cambio químico ou físico.
34	<i>[Graciela]: Si.</i>	Dá unha resposta que suxire que está a pensar nun cambio físico.
35	<i>[Investigadora]: Si? Entonces sería o mesmo peso? Igual?</i>	Dá a oportunidade de repensar a resposta.
36	<i>[Gloria]: Si.</i>	Dá unha resposta que suxire que está a pensar nun cambio físico.
37	<i>[Investigadora]: Vale. Por que en teoría á vela que lle pasaría?</i>	Solicita unha explicación.
38	<i>[Graciela]: Sólo se derrite.</i>	Propón unha explicación para os cambios na cera.
41	<i>[Investigadora]: E despois que función tería por exemplo a mecha que ten aquí? O sea, aquí na vela hai como dúas partes, tedes a cera e despois a mecha. Entón, que función tería cada unha? Ti cando a encendes que estaría ardendo?</i>	Pide que identifiquen o material combustible nunha candeia.
42	<i>[Gloria]: A mecha.</i>	Identifica a mecha como combustible.
43	<i>[Investigadora]: Pensades todas o mesmo?</i>	Solicita unha resposta ao resto do grupo.
44	<i>[Graciela]: Si.</i>	Identifica a mecha como combustible.

Deste xeito, cando a investigadora pregunta o que marcaría unha balanza se sobre ela se situase unha candeia ardendo, nas quendas de fala 34 e 36 obsérvase que existe consenso entre as participantes ao sinalar que a balanza marcaría a mesma masa. Esta idea de que a masa se conserva naquelas transformacións da materia nas que interveñen gases e se producen en sistemas abertos tamén resulta comparable ao modelo de modificación (M5). Sen embargo, nas quendas de fala 41 a

44 obsérvase que as estudantes fan referencia a unha combustión cando pensan acerca dos cambios que sofre a mecha, identificando esta parte da candeia como o material combustible.

Nas quendas de fala 74 a 92 obsérvase de novo como as estudantes empregan distintos modelos en función da parte da candeia que consideren (ver Cadro 5.8).

Cadro 5.8. Fragmento da discusión [4] durante o episodio de explicación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
74	<i>[Profesora]: Pois a ver, por que se empañou? Que tipo de cambio diciades que era? Un cambio físico, un cambio químico... que contestáchedes?</i>	Solicita explicacións para a aparición de auga sobre o vaso e solicita identificar o tipo de cambio.
75	<i>[Graciela]: Non me acorda.</i>	Manifesta haber esquecido a resposta.
76	<i>[Profesora]: Bueno pois agora pensádelo de novo. Como era o cambio, físico, químico... ? Como era?</i>	Solicita identificar o tipo de cambio.
77	<i>[Graciela]: Físico e químico, as dúas.</i>	Identifica a combustión dunha candeia como un cambio físico e químico.
78	<i>[Profesora]: A ver, por que. Explica por que é das dúas maneiras.</i>	Solicita esclarecemento.
79	<i>[Graciela]: Porque a vela se derrite pero:: é dicir, despois vólvese solidificar igual, entónces ese é físico. E químico porque a chama:: é dicir, o fío, fai a combustión.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno identificando a mecha como o combustible.
80	<i>[Profesora]: O sea, o único que se queima é o fío, é dicir, que se eu coloco o fío só, tería luz tanto tempo como agora? Ti imaxínate que collo o mesmo fío, vale? E o teño só, lle prendo lume, ou o teño aquí dentro da vela. Me duraría o mesmo?</i>	Formula unha pregunta ao grupo para que reflexionen acerca da súa interpretación.
83	<i>[Graciela]: Si.</i>	Segue a identificar a mecha como combustible.
84	<i>[Profesora]: Vós que credes, que non farían velas por aí?</i>	Formula unha pregunta ao grupo para que reflexionen acerca da súa interpretación.
85	<i>[Graciela]: No, non pode durar o mesmo ((risas)).</i>	Detecta debilidades na súa interpretación.
86	<i>[Gloria]: Al tener la cera alrededor del hilo hace que tarde más.</i>	Identifica a cera como axente que retarda a combustión.

87	<i>[Investigadora]: E entón por que tardará máis? Que é o que lle fará?</i>	Solicita esclarecemento.
90	<i>[Gloria]: Claro, porque ahí lo que hace la cera es que tarde menos:: ((corríxe a súa resposta)) tarde máis.</i>	Aclara a súa resposta.

Na quenda de fala 79 vese como unha alumna, Graciela, activa un modelo de modificación para describir os cambios que sofre a cera. Esta alumna expresa que o proceso de transformación que experimenta a candea é reversible (M2), de tal maneira que non concibe a chama como unha evidencia de que está a ter lugar unha reacción química, senón que interpreta a chama como un axente responsable do cambio no estado de agregación da substancia en cuestión (M3). En cambio, nesta mesma quenda de fala obsérvase como esta alumna activa un modelo de transición entre o modelo de transmutación situado no segundo nivel de progresión para a comprensión dos cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014) e o modelo de reacción química, xa que menciona que a mecha arde, pero non queda claro que esta alumna interprete o fenómeno en termos dunha interacción química entre o material combustible e o osíxeno do aire para dar lugar á formación de dióxido de carbono e auga.

Na quenda de fala 86 obsérvase como outra alumna, Gloria, mantén a idea de que o único que arde durante a combustión dunha candea é a mecha, atribuíndolle á cera a función de retardar o proceso de combustión. Esta resposta concorda coas obtidas noutros traballos (BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997), en onde se amosan as dificultades dos estudantes para identificar a cera como combustible.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, cómpre mencionar que as participantes incluíron respostas consistentes co modelo de transmutación. As diferenzas respecto aos modelos previos xurdiron con posterioridade a cubrir a última sección do cuestionario, a través da interacción entre pares fomentada polos retos cognitivos que presentaban para as estudantes as preguntas retadoras da investigadora e da profesora. A modo de exemplo, reproducése a resposta escrita de Gisela (ver Figura 5.5):

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Ocorre porque el fuego necesita oxígeno para combustionarse,
y al poner el recipiente, tapa todas las entradas de oxígeno,
por lo tanto se aprovecha el de dentro del recipiente hasta que
se acaba y la llama se apaga.

Figura 5.5. Resposta escrita de Gisela durante a fase de explicación

5.4.5.2 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo H (EC3)

En primeiro lugar cómpre mencionar que no desenvolvemento desta experiencia unicamente participaron Hugo e Helena, por mor da ausencia do terceiro membro do grupo, Héctor.

En virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos, a análise deste evento estrutúrase en tres fases. Durante a primeira fase da intervención os estudantes tiñan que emitir predicións acerca da combustión dunha candea que é cuberta cun recipiente. Ao non establecerse ningún tipo de discusión entre os participantes durante esta primeira fase da intervención, a análise de datos baséase exclusivamente nas producións escritas dos participantes. Nas seguintes fases da intervención, a discusión foi máis produtiva, de aí que se conxugue a análise do discurso transcrito cos datos procedentes dos cuestionarios. Debido á ausencia de intervencións durante a fase de predición, na análise do discurso unicamente se contemplan dous episodios (observación e explicación). O primeiro episodio, integrado por aquelas intervencións nas que o alumnado executa e observa o fenómeno, comprende as quendas de fala 1 a 27. O segundo episodio deste evento, integrado polas intervencións nas que os estudantes constrúen unha explicación para o observado intentando conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición inicial, abrangue da quenda de fala 28 a 89.

Predición

Na primeira pregunta do cuestionario pedíase aos estudantes que apuntasen o que pensaban que sucedería ao cubrir unha candea acesa cun recipiente. Tanto Hugo como Helena coinciden ao sinalar que a candea ao cabo dun tempo se apagará. A través da seguinte cuestión pedíase aos estudantes que xustificasen a predición anterior. Ambos

participantes dan respostas que se poden considerar indicadoras de que están a activar un modelo de transmutación, en virtude do cal unhas substancias se transforman noutras substancias diferentes, en calor ou en lume. As respostas dos estudantes suxiren que estes interpretan a presenza de osíxeno como necesaria para producir a chama (T2), pero non chegan a facer referencia a unha interacción química entre o combustible da candeia e o osíxeno do aire (RQ1). Estas respostas, indicadoras dun modelo de transmutación, sitúanse no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014). A modo de exemplo, reproducése a resposta escrita de Hugo (ver Figura 5.6).

Que cres que sucederá cando unha candeia acendida se cobre cun recipiente?
La vela está encendida durante un tiempo pero al final se apagará.

Por que cres que ocorrerá iso?
Porque va gastando el oxígeno para mantenerse encendida y cuando cesa se apaga.

Figura 5.6. Resposta escrita de Hugo durante a fase de predición

Observación

Nas sucesivas etapas da estratexia POE adoptada para a recollida de datos (White & Gunstone, 1992) conxúgase a análise do discurso coa análise dos datos obtidos por medio dos cuestionarios. O primeiro episodio deste evento, no que os participantes observaron o fenómeno, esténdese das quendas de fala 1 a 27. Houbo dous factores que contribuíron á brevidade deste episodio. Por unha parte, os participantes non se implicaron en gran medida nunha discusión activa sobre as observacións efectuadas. Por outra lado, os participantes amosaron pouca iniciativa no momento de realizar os ensaios, tapando a candeia co recipiente nunha soa ocasión, a pesares de que dispuñan dunha ampla diversidade de material (candeas de diferente tamaño, recipientes de varias formas e capacidade...).

Nas quendas de fala 20 a 24 os participantes dan conta das observacións efectuadas tras executar o experimento (ver Cadro 5.9). Tanto Helena como Hugo expresan que a candeia se apaga e que se

produce embazamento sobre o recipiente de vidro que utilizaron para cubrir a candeia.

Cadro 5.9. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
20	[Helena]: Mira, se está empañando todo.	Realiza observacións.
21	[Hugo]: Arde la vela. Ahora sí se apaga.	Realiza observacións.
22	[Helena]: Se está:: no:: sí, la vela se está apagando.	Realiza observacións.
23	[Hugo]: Se empaña el cristal.	Realiza observacións.
24	[Helena]: Por dentro. Lo que rodea la llama.	Realiza observacións.

Todas as observacións que os estudantes manifestaron durante a interacción oral tamén foron reflectidas no cuestionario. A modo de exemplo reproducéase a resposta escrita de Helena (ver Figura 5.7).

Anota o que observas cando a candeia se cobre.
 El vaso se ha empañado en los lados cercanos a la llama, hasta que esta se apagó y con un poco de tiempo, el vaso empezó a desempañarse por ser un vaso de precipitados.

Figura 5.7. Resposta escrita de Helena durante a fase de observación

Explicación

O segundo episodio deste evento, durante o que os participantes tiñan que construír unha explicación plausible para o fenómeno observado, esténdense desde a quenda de fala 28 ata a 89. Durante este episodio os participantes tamén se resistiron a discutir de forma espontánea debido, probablemente, a que era a primeira vez que se enfrontaban a unha actividade tipo POE (White & Gunstone, 1992). Por esta razón, a interacción social tivo que ser fomentada mediante a intervención da investigadora, quen a través de varias preguntas, animou aos estudantes a expresar as súas ideas. Despois de que a investigadora pedise aos participantes que explicasen o sucedido, na quenda de fala 44 obsérvase como Helena segue a situarse no modelo de transmutación para a interpretación dos cambios químicos (ver Cadro 5.10). Non obstante, obsérvase que esta alumna incorpora unha nova idea ao modelo de transmutación ao facer referencia a que unha substancia se transforma noutra substancia distinta sen conservarse a

identidade a nivel atómico (T5), neste caso o osíxeno transformárase en dióxido de carbono.

Cadro 5.10. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
43	[Investigadora]: A ver, contádeme. Que anotastes vós?	Solicita explicacións.
44	[Helena]: Pues:: anotamos que en sí, cuando estaba encendida la vela, luego le poníamos el vaso y se empañaba justamente por la zona donde se situaba la llama y que una:: bueno, con el paso del tiempo, la llama se fue apagando hasta que se apagó del todo y:: bueno, con la abertura del vaso de precipitados vemos que luego se fue desempañando, y llegamos a la conclusión de que esto todo ocurre porque el oxígeno que está dentro del vaso al ser cerrado la llama lo que hace es extinguir es decir, que no haya combustión, y al transformarse el O_2 en CO_2 la llama pierde así el medio por el cual pueda seguir encendida y lo que hace es que se apague.	Describe as observacións realizadas e dá unha explicación para o fenómeno baseada nunha transmutación.
45	[Investigadora]: Vale, entonces apágase porque se consume o osíxeno, e despois ademais de osíxeno libérase ou prodúcese algo? Ti dixeras algo de CO_2 .	Solicita explicacións.
46	[Hugo]: CO_2 como gas, dióxido, pero no se libera nada más. Bueno, fúndese:: fundiríase parte da vela e seguiría fundida pero:: nada máis.	Dá unha explicación para o fenómeno.
47	[Investigadora]: Vale. E despois o vapor de auga que vedes por que credes que é?	Solicita unha explicación para a aparición de auga.
48	[Helena]: Por el cambio:: por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior.	Explica a aparición de auga en base a unha diferenza de temperatura.
88	[Profesora]: Se produce tamén:: Vós oístedes falar algunha vez da cociñas:: bueno das cociñas, esto se da ó mellor en casas así máis vellas e tal, seguro que vós nas vosas casas tedes ó mellor eh:: calefacción eléctrica ou calefacción de gasoil, vale. Pero ás veces, cando nunha casa non teñen instalación de calefacción pois o que fan é poñer unha	Describe unha problemática relacionado coas estufas de parafina e con relación a iso formula unha pregunta aos participantes para que reflexionen acerca da

	<i>estufa destas de parafina que hai agora. Antes utilizaban máis eh:: como se chama, estufas de butano, é dicir, que ti metías a bombona dentro da propia estufa, a poñías a queimar alí sobre unha parrilla. Eso tiña un problema. Que lle producía moitísima humidade, de onde sae esa humidade?</i>	validez da súa interpretación.
89	<i>[Helena]: Porque el aire que respiramos también está formado de vapor de agua.</i>	Explica a aparición de auga en base a unha condensación de vapor de auga do aire.

Na quenda de fala 46 obsérvase como Hugo reconece o dióxido de carbono como un dos produtos da transformación. Sen embargo, ignora a produción de auga durante a combustión. Esta resposta concorda cos achados de investigacións previas (Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997) nas que tamén se expuxeron as dificultades dos estudantes para identificar a auga como un dos produtos da combustión. Por outra banda, malia que nesta intervención menciona a idea de que parte da cera se funde, contrastando esta resposta coas sucesivas intervencións deste alumno e coa explicación que inclúe no cuestionario, semella que está comezando a activar un incipiente modelo de reacción química ao expresar a idea de interacción química entre o combustible da candeia e o osíxeno do aire para dar lugar á formación de novos produtos (RQ1) como o dióxido de carbono. Non obstante, non existen evidencias de que este alumno interprete o fenómeno en termos de reorganización de partículas.

Despois de que a investigadora preguntase aos participantes acerca da auga que condensa sobre as paredes do recipiente, na quenda de fala 48 intervéen Helena para facer referencia a que se produce embazamento no recipiente por mor da diferenza de temperatura entre o interior e o exterior do mesmo. Trátase dunha explicación parcial, xa que menciona a causa da condensación, pero non aclara de onde provén a auga que condensa. Ao final deste episodio, na quenda de fala 89, obsérvase como esta alumna considera que o vapor de auga que condensou provén do aire en lugar de ser un dos produtos da reacción de combustión.

Por outra banda, a través dos retos cognitivos que presentaban para os estudantes as preguntas da investigadora, comezaron a xerarse

máis diferencias (Ogborn et al., 1998). Ante unha pregunta da investigadora sobre o que marcaría unha balanza se sobre ela se situase unha candeia ardendo, na quenda de fala 50 obsérvase como Hugo introduce unha nova idea ao interpretar que o combustible é a cera e non a mecha (ver Cadro 5.11).

Cadro 5.11. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
49	<i>[Investigadora]: (...) Fágovos a mesma pregunta que lle fixen ó outro grupo. Vós, se a vela a colocades nunha balanza, non? E despois lle prendedes lume, ó cabo de certo tempo que credes que marcaría a balanza? O mesmo, máis ou menos?</i>	Formula ao grupo unha pregunta para coñecer se están pensando en cambio químico ou físico.
50	<i>[Hugo]: Quizás si, un poco menos porque creo que a combustión faría perder un pouco do:: do que é a cera.</i>	Dá unha resposta que suxire que identifica o fenómeno como un cambio químico.
51	<i>[Investigadora]: Vale, entón vós que considerades cando:: porque vós nunha vela vedes dúas partes, non? A mecha que está dentro e despois a cera de fóra. Entón vós cando lle prendedes lume que credes que se está queimando? O sea, que parte?</i>	Pide que identifiquen o combustible na candeia.
52	<i>[Helena]: En sí se está quemando lo que es el cordón y luego una mínima parte de la cera.</i>	Identifica a mecha como o combustible.
55	<i>[Investigadora]: Vale máis fácil. Entre a mecha e a cera cal sería o combustible?</i>	Pide de forma explícita que identifiquen o combustible na candeia.
56	<i>[Hugo]: A cera, non? Non pensas que é a cera? ((dirixíndose a Helena)).</i>	Contradí a resposta da compañeira e identifica a cera como combustible.
57	<i>[Helena]: Yo pienso que sería la mecha porque el combustible es lo que::</i>	Mantén a idea da mecha como combustible nunha candeia.

Sen embargo, na quenda de fala 57 obsérvase como Helena considera que o que arde nunha candeia é a mecha e non a cera. A resposta desta alumna é semellante ás recollidas noutros traballos (BouJaoude, 1991; Gabel et al, 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997), en onde se amosan as dificultades dos estudantes para identificar a cera como combustible. Deste xeito, durante as

quendas de fala 50 a 59 establece a situación comunicativa que Baker (2009) cualifica como conflito mixto de opinións interpersoal. Esta situación dáse cando dous suxeitos posúen distintos modelos ou ideas que entran en confrontación. Neste caso particular, Hugo activa un modelo para interpretar a combustión dunha candea segundo o cal o combustible é a cera, mentres que Helena emprega un modelo segundo o cal o combustible é a mecha.

Ao manifestar unha das participantes a idea de que o único que arde nunha candea é a mecha, a investigadora pregunta a Helena pola función que desempeña a cera ao non ser o material combustible (ver Cadro 5.12).

Cadro 5.12. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
62	<i>[Investigadora]: Vale, entón a cera que sería en este caso? Porque se só arde a mecha. A cera que é entón, un soporte?</i>	Pide que expliquen a función da cera na candea.
63	<i>[Helena]: No, la cera lo que haría sería que se ralentice es decir::</i>	Identifica a cera como un axente que retarda a combustión.
64	<i>[Investigadora]: Que vaia máis lento?</i>	Solicita esclarecemento.
65	<i>[Helena]: Claro. La cera en sí lo que está haciendo es ralenti/ ralen/</i>	Identifica a cera como un axente que retarda a combustión.
66	<i>[Hugo]: Ralentizar ((axuda a compañeira a pronunciar a palabra)).</i>	Presta axuda á compañeira.
67	<i>[Helena]: Ralentizar. Vale. Es que no sale la palabra ralentiz/ el:: a ver tú tienes la mecha. La mecha, en sí, si tú le prendes fuego se quema más rápido, pero si lleva cera lo que hace es que vaya más lento.</i>	Identifica a cera como un axente que retarda a combustión.
68	<i>[Hugo]: Es que/</i>	Intenta cuestionar a interpretación da compañeira.
69	<i>[Helena]: Y a su vez pierda esta:: entonces lo que hace es que se vaya derritiendo:: se vaya quemando esto ((a mecha)) y esto que se vaya deshaciendo ((a cera)).</i>	Identifica a cera como un axente que retarda a combustión e a mecha como o combustible.
70	<i>[Hugo]: Entonces esto no se acaba porque se derrite la vela.</i>	Introduce un argumento que invalida a interpretación da compañeira.

Nas quendas de fala 63 a 67 obsérvase como esta alumna sinala que a función da cera consiste en retardar a combustión da mecha. Na quenda de fala 70 obsérvase como Hugo introduce un argumento que trata de invalidar o modelo de Helena ao sinalar que, de ser adecuado o razoamento da súa compañeira, as candeas nunca se esgotarían, pero se nos remitimos á experiencia, sabemos que isto non é así.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, Helena deu unha explicación consistente co modelo de transmutación ao facer referencia na súa resposta escrita a que o osíxeno se transforma noutra substancia diferente, neste caso en dióxido de carbono. Esta alumna activou durante toda a experiencia o mesmo modelo para a interpretación dos cambios químicos, o cal a sitúa no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (ver Figura 5.8).

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Ocorre lo que he observado dado que la llama produce la combustión del O_2 que se encuentra dentro del vaso, convirtiéndose en CO_2 y haciendo que la llama pierda su medio necesario para seguir encendida.

Figura 5.8. Resposta escrita de Helena durante a fase de explicación

Pola súa banda, a resposta escrita de Hugo pode considerarse indicadora de que está a activar un modelo incipiente de reacción química, ao deixar entrever a idea de interacción química entre a candeas e o osíxeno do aire para formar dióxido de carbono (ver Figura 5.9). Deste xeito, este alumno pasou de activar un modelo de transmutación a situarse nun modelo incipiente de reacción química, que se corresponde co terceiro nivel de progresión para a interpretación dos cambios químicos.

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Porque la vela va quemando el O_2 en el interior del vaso de precipitados y expulsando CO_2 . En el momento en el que no queda O_2 la llama no puede continuar encendida.

Figura 5.9. Resposta escrita de Hugo durante a fase de explicación

5.4.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo I (EC3)

En primeiro lugar cómpre mencionar que durante o desenvolvemento desta actividade soamente se puido contar coa participación de tres alumnas, estando ausente Iris.

A análise do discurso deste grupo estrutúrase en tres episodios en virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que as estudantes formulan predicións acerca da combustión dunha candea cuberta cun recipiente, comprende das quendas de fala 1 a 4. O segundo episodio, durante o que as estudantes poñen en práctica a experiencia e observan o que sucede, abrangue das quendas de fala 5 a 36. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que as estudantes han de explicar o sucedido tratando de conciliar as observacións coa predición, abrangue das quendas de fala 37 a 107.

Predición

Nas quendas de fala 1 a 4 obsérvase a construción de predicións nun proceso colaborativo por parte de dúas estudantes, Irene e Idaira (ver Cadro 5.13).

Cadro 5.13. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Irene]: Que cres que sucederá cando unha vela encendida se cubre con un recipiente?</i>	Solicita predicións.
2	<i>[Idaira]: Se apaga. ¿Por qué? Porque se le va el oxígeno ((á chama)).</i>	Emite unha predición e xustifica a predición.
3	<i>[Irene]: Y ya no tiene nada que combustionar.</i>	Xustifica a predición.
4	<i>[Idaira]: Y se extingue la llama.</i>	Emite unha predición.

A primeira en intervir é Irene, quen na quenda de fala 1 se dispón a ler a primeira pregunta do cuestionario na que se pide ás participantes que escriban o que pensan que sucede ao tapar unha candea acendida cun recipiente. A esta pregunta, outra alumna, Idaira, responde que a candea se apaga. Idaira xustifica esta predición facendo referencia a que a chama se extingue pola falta de osíxeno.

Na quenda de fala 3 obsérvase como Irene está de acordo co razoamento da súa compañeira, engadindo que ao esgotarse o osíxeno a combustión cesa. Estas respostas poden considerarse indicadoras de que estas alumnas están a activar un modelo de transmutación no que se contempla a idea do osíxeno como alimento para a chama (T2) e no que non se fai explícita a idea de interacción química entre o combustible da candeia e o osíxeno do aire para dar lugar á formación de novas substancias (RQ1).

No caso de Ingrid, ao non intervir durante a discusión, as súas respostas escritas ás cuestións relativas á fase de predición constitúen os únicos datos dos que se dispoñen para inferir o modelo previo activado por esta alumna para interpretar a combustión dunha candeia. Esta alumna fai referencia a que a candeia se apaga, xustificando esta predición facendo referencia a que chega un momento en que o osíxeno se acaba. En base a esta resposta, pódese considerar que esta alumna está a activar un modelo de desaparición polo cal as substancias desaparecen ou pasan a formar parte da nada (D1). Na Figura 5.10 reproducése a resposta escrita de Ingrid.

Que cres que sucederá cando unha candeia acendida se cobre cun recipiente?
 Que se apagará ao pasar un tempo.

Por que cres que ocorrerá iso?
 Porque chega un momento onde se acaba o osíxeno.

Figura 5.10. Resposta escrita de Ingrid durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 5 a 36. Durante este episodio as estudantes desenvolven a actividade e observan o que sucede. Nas quendas de fala 33 a 36 vese como dúas participantes, Irene e Idaira, poñen en común o observado (ver Cadro 5.14). Ambas comparten a observación de que a candeia se apaga.

Ningunha das participantes menciona durante a interacción oral a observación de que condensa vapor de auga sobre o recipiente co que se tapa a candeia. Sen embargo, unha alumna, Ingrid, si fai referencia a que o recipiente se embaza na súa resposta escrita (ver Figura 5.11).

Cadro 5.14. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
33	<i>[Irene]: Anota lo que observas cuando la vela se cubre. Pues dependiendo:: si la vela tiene muy poca llama:: si la vela tiene poca llama entonces se revive pero después se apaga.</i>	Le a pregunta do cuestionario e comenta as observacións.
34	<i>[Idaira]: Vale.</i>	Está de acordo coas observacións da compañeira.
35	<i>[Irene]: Cuando la cubres se reaviva y al final se apaga.</i>	Comenta as observacións.
36	<i>[Idaira]: Cuando la cubres se reaviva y al final se apaga. Cuando la vela tiene mucha llama se apaga:: se va apagando hasta que al final se apaga.</i>	Comenta as observacións.

Anota o que observas cando a candea se cobre.
Que se apaga pasado un certo tempo e a parte de arriba se empaña.

Figura 5.11. Resposta escrita de Ingrid durante a fase de observación

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue desde as quendas de fala 37 a 107. Durante o transcurso deste episodio, as participantes construíron explicacións para o sucedido. Nas quendas de fala 41 a 43 obsérvase a construción dunha explicación mediante un proceso colaborativo por parte de dúas alumnas, Idaira e Irene (ver Cadro 5.15). Cómpre mencionar que, ao igual que acontecerá nos demais episodios deste evento, as intervencións destas participantes foron as que dominaron a discusión, mentres que a terceira integrante deste grupo, Ingrid, tivo unha actitude máis pasiva, amosando un grao de implicación na tarefa moi baixo.

Nas quendas de fala 41 a 43 obsérvase que tanto Idaira como Irene seguen a activar o modelo de transmutación para interpretar o fenómeno de combustión dunha candea. A idea que mencionaron nas súas intervencións foi a do osíxeno como alimento para a chama (T2). Non obstante, obsérvase como Idaira comeza a incorporar neste modelo aspectos do modelo de reacción química, ao engadir ao modelo de transmutación a idea de interacción entre o osíxeno e o

axente activo do cambio (a chama). Na quenda de fala 43 esta alumna fai referencia a que a chama absorbe o osíxeno, dando unha resposta semellante a aquelas que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química.

Cadro 5.15. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
41	<i>[Idaira]: Bueno, a ver, bien:: que contamos nosotras, bien. La vela tiene:: a ver, está la llama, tiene oxígeno y todas esas cosas. Entonces lo cubrimos y al cubrirlo ya estamos tapando como que entre de nuevo más oxígeno, y la vela, la llama de la vela está como absorbiendo todo el oxígeno que tenía antes la llama.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada nun modelo de transición entre transmutación e reacción química.
42	<i>[Irene]: Y además, y el fuego necesita oxígeno para arder.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada nunha transmutación.
43	<i>[Idaira]: Entonces el oxígeno que había dentro lo absorbe la llama y al no haber entrada de oxígeno pues la llama se extingue.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada nun modelo de transición entre transmutación e reacción química.

Nas quendas de fala 75 a 77 obsérvase como as estudantes confirman haber visto a formación de bafo no recipiente (ver Cadro 5.16). Sen embargo, non fan explícita esta observación ata que a investigadora pregunta especificamente por este aspecto. O feito de que as participantes non fixesen referencia de maneira espontánea ata este momento á condensación de vapor de auga pode deberse a que, en xeral, o alumnado tende a fixarse naqueles aspectos que esperan que sucedan, pasando desapercibidos ou deixando nun segundo plano aqueles sucesos que quedan fóra das súas expectativas.

Cando a investigadora pide ás estudantes que expliquen a que se debe a formación de bafo, na quenda de fala 79 obsérvase como Idaira suxire que pode tratarse de osíxeno. Esta interpretación encádrase no modelo de transmutación segundo o cal unha substancia, o osíxeno, se transforma noutra substancia distinta, a auga (T5). Na quenda de fala 81 obsérvase como outra alumna, Irene, semella apoiar o razoamento

da súa compañeira. Sen embargo, na quenda de fala 84 obsérvase como finalmente descarta esta explicación ao introducir o argumento de que se a candeia se apaga é por que non hai máis osíxeno.

Cadro 5.16. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
75	<i>[Investigadora]: Vale. E a maiores de que a vela se apaga ou se reaviva non vistes eu que sei, por exemplo nas paredes do vaso::</i>	Solicita observacións.
76	<i>[Idaira]: Ah sí claro, se:: como vapor.</i>	Fai explícita unha observación.
77	<i>[Irene]: No vapor:: sí:: como una cosita así.</i>	Fai explícita unha observación.
78	<i>[Investigadora]: Entón esto que vedes por aquí que pensades que é?</i>	Solicita unha explicación para a observación.
79	<i>[Idaira]: A lo mejor es oxígeno::</i>	Dá unha explicación para a observación.
80	<i>[Investigadora]: Por que pensades que pode ser?</i>	Solicita esclarecemento.
81	<i>[Irene]: A lo mejor es que como tiene la necesidad del oxígeno en las paredes también::</i>	Esclarece a súa explicación.
83	<i>[Investigadora]: Entón ti dis que como o tapas e hai osíxeno dentro que as paredes como que:: o osíxeno tende a pegarse ás paredes?</i>	Solicita esclarecemento.
84	<i>[Irene]: No porque a chama, se se apaga, quere decir que colle todo o osíxeno, entón non pode deixar:: se se apagou non pode haber máis osíxeno.</i>	Rexeita a súa explicación para a aparición de auga baseada na transmutación de osíxeno.

Nas quendas de fala 87 a 98 obsérvase como as estudantes empregan dous modelos para a interpretación dos cambios químicos diferentes segundo o material da candeia no que centren a súa atención (ver Cadro 5.17). Nas quendas de fala 88 a 89 obsérvase como Idaira e Irene activan un modelo de modificación ao interpretar que a cera soamente se derrete. As ideas ou elementos clave que definen este modelo e están presentes no discurso das estudantes son aquelas que contemplan o lume como o axente responsable do cambio de propiedades físicas da substancia (M3), e consideran que a cera pasa do estado sólido ao estado líquido, pero segue sendo a mesma substancia (M4).

Cadro 5.17. Fragmento da discusión [3] durante o episodio de explicación do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
87	<i>[Investigadora]: E a ver, que máis? Entón se eu colocara por exemplo esta vela nunha balanza antes de prenderlle lume e despois lle prendo lume, e está un tempo ardendo, pensades que vai pesar o mesmo, menos ou máis?</i>	Formula ao grupo unha pregunta para coñecer se están pensando en cambio químico ou físico.
88	<i>[Irene]: ¿Pesar? Hombre menos porque esto se derrite ((a cera)), esto se va consumiendo, se derrite::</i>	Dá unha resposta que suxire que está a pensar nun cambio físico para a cera.
89	<i>[Idaira]: Ya, pero también al derretir pesa lo mismo.</i>	Introduce un argumento que apoia o mantemento da masa.
90	<i>[Investigadora]: Vale, pero non é o mesmo que se derreta ca que se consume. Estasme decindo dúas cousas distintas, unha cousa é que se derreta::</i>	Pide maior claridade nas respostas e un uso máis rigoroso da linguaxe.
91	<i>[Irene]: Si yo pongo esta vela así encima de una balanza::</i>	Pensa sobre a pregunta formulada pola investigadora.
92	<i>[Investigadora]: Si. Vale. E despois préndeslle lume e está un cacho ardendo e despois imaxínate que se apaga. No momento en que se apague depois de levar ardendo un certo tempo cres que pesará o mesmo?</i>	Volve a repetir ao grupo unha pregunta para coñecer se están pensando en cambio químico ou físico.
93	<i>[Idaira]: No, menos.</i>	Considera que a masa diminúe co tempo de situar a candea acesa sobre unha balanza.
94	<i>[Investigadora]: Por que?</i>	Solicita unha explicación.
95	<i>[Irene]: Porque esto es cera entonces la cera se va y si se va una parte de la cera no puede pesar lo mismo.</i>	Dá unha explicación para a diminución de masa.
96	<i>[Investigadora]: Si, pero imaxínate. Ti dis que a cera se derrete, non? Ti imaxínate que tes un recipiente abaixo que pode conter toda a cera. Entón nese caso?</i>	Esclarece a pregunta.
97	<i>[Idaira]: Pesaría igual.</i>	Considera que a masa non cambia co tempo de situar a candea acesa sobre unha balanza.
98	<i>[Irene]: No, porque también esto se quema, el hilito ese pequeño.</i>	Identifica a mecha como combustible.

Estas interpretacións do fenómeno son semellantes ás recollidas noutros traballos como o de Méheut et al. (1985). Estes autores atoparon que o 25% dos participantes (11-12 anos) no seu estudo describían o cambio que se produce durante a combustión dunha candea como unha fusión. Por outra banda, cando a investigadora pregunta o que marcaría unha balanza se sobre ela se situase unha candea ardendo, na quenda de fala 89 obsérvase como Idaira sinala que a balanza marcaría a mesma masa. Esta resposta, na que se contempla a conservación da masa nun sistema aberto (M5), é consistente co modelo de modificación que a estudante activou para interpretar os cambios que experimenta a cera da candea.

Na quenda de fala 97 obsérvase como Idaira segue a manter a idea de que a masa da candea acesa se mantén igual ao longo do tempo.

Na quenda 98 obsérvase como Irene activa un modelo incipiente de reacción química cando pensa no que lle sucede á mecha e introduce unha diferenza (Ogborn et al., 1998) ao mencionar que a balanza non marcaría a mesma masa debido a que a mecha arde.

No fragmento do discurso que figura no Cadro 5.18 a investigadora pregunta pola función da mecha nunha candea.

Cadro 5.18. Fragmento da discusión [4] durante o episodio de explicación do grupo I

Quenda	Transcripción	Análise do discurso
99	<i>[Investigadora]: O sea, que o que se queima en este caso sería só a mecha.</i>	Pide identificar o combustible nunha candea.
100	<i>[Idaira]: Claro.</i>	Identifica a mecha como o combustible.
101	<i>[Investigadora]: Entón a cera que sería en este caso? Que función tería?</i>	Solicita esclarecemento acerca da función da cera nunha candea.
102	<i>[Irene]: Aislante.</i>	Identifica a cera como illante.
103	<i>[Investigadora]: Aislante? Aislante como?</i>	Solicita esclarecemento.
104	<i>[Irene]: Pues para aguantarlo, ¿no?</i>	Identifica a cera como soporte.
105	<i>[Investigadora]: Ah, de soporte.</i>	Expresa entender a que se refire a alumna.
106	<i>[Irene]: Claro, porque senón:: sabes?</i>	Mantén a idea da cera como soporte.

Na quenda de fala 100 vese como Idaira segue a identificar a mecha como o combustible nunha candeia. Nas quendas de fala 102 a 104 obsérvase como Irene lle atribúe á cera a función de illante e soporte (ver Cadro 5.18). Estas respostas son semellantes ás recollidas noutros traballos (BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997), onde se amosan as dificultades dos estudantes para identificar a cera como combustible.

En relación ás respostas que as estudantes incluíron nos cuestionarios, todas elas son consistentes co modelo de transmutación, situándose no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos. A idea que mencionaron con máis frecuencia nas súas explicacións foi a do osíxeno como alimento para a chama. A modo de exemplo reproducéase a resposta escrita de Ingrid (ver Figura 5.12).

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Que a llama aliméntase de osíxeno e cando este se acaba a vela se apaga.

Figura 5.12. Resposta escrita de Ingrid durante a fase de explicación

5.4.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo G (EC3)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado formula predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 14. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 15 a 41. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno observado, abrangue as quendas de fala 42 a 81.

Predición

No primeiro episodio deste evento (ver Cadro 5.19) prodúcese a intervención dunha alumna deste grupo quen, en interacción coa

profesora, constrúe unha primeira predición para o que sucede ao quentar azucre.

Cadro 5.19. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Graciela]: ¿Qué crees que ocurrirá? Pues que el sólido se convierte en líquido. Profe, ¿por qué se derrite?</i>	Le o enunciado da tarefa e emite unha predición.
4	<i>[Profesora]: Ai non sei. Pero xa o fixéstedes?</i>	Pregunta ao grupo acerca do desenvolvemento da tarefa.
5	<i>[Graciela]: No, no. Estamos na predición.</i>	Indica a fase da intervención que están a desenvolver.
6	<i>[Profesora]: Ah::! Estadese predecindo. O sea, vos predecides que se derrite. Pero a vosa predición a teredes que facer en base a algo.</i>	Solicita unha explicación da predición.
7	<i>[Graciela]: ((Risas)) Porque:: por exemplo miña nai cando lle pon a unha tarta o azúcar por riba, como unha tarta de mazá, e despois lle dá con un mechero o azúcar vólvese:: tóstase, derrítese e queda como dorado.</i>	Dá unha explicación para a predición baseada en experiencias da vida diaria.
8	<i>[Profesora]: Bueno, e por que?</i>	Solicita unha explicación da predición.
9	<i>[Graciela]: Porque se derrite.</i>	Dá unha explicación tautolóxica da predición.
10	<i>[Profesora]: Non podes decir na resposta o mesmo. A ver, pero as demais participade.</i>	Solicita unha explicación da predición e anima á participación do grupo.
11	<i>[Gisela]: Creo que o punto de fusión está moi alto entón o azúcar::</i>	Dá unha explicación da predición.
12	<i>[Profesora]: A que lle chamas ti moi alto?</i>	Solicita esclarecemento.
13	<i>[Gisela]: Que ti lle aplicas calor e se derrite.</i>	Reformula a súa explicación da predición.

Na quenda de fala 1 obsérvase como esta alumna, Graciela, predí que o azucre, que está en estado sólido, se vai converter en líquido. Cando a profesora pide á alumna que xustifique a súa predición, esta estudante ampárase nun coñecemento intuitivo construído a través de vivencias anteriores no eido familiar. Na quenda de fala 7 obsérvase como esta alumna basea a súa predición na experiencia adquirida ao ver como o azucre que súa nai lle bota por encima á tarta de mazá

adquire unha consistencia líquida e se volve de cor marrón ao darlle cun chisqueiro.

Como a profesora continuou a demandar unha explicación para a súa predición, na quenda de fala 11 outra alumna, Gisela, menciona que o azucre se derrete porque o punto de fusión é moi alto. Cando a profesora pide a Gisela que aclare o que quere dicir con iso, na quenda de fala 13 a alumna menciona que o azucre se vai derreter debido ao aporte de calor.

As respostas de Graciela e Gisela pódense considerar indicadoras de que estas alumnas están a activar un modelo de modificación, ao expresar a idea de que a substancia segue a ser a mesma, véndose alterada unicamente algunha das súas propiedades físicas, neste caso o estado de agregación (M2). Este cambio viría desencadeado pola acción dun axente externo, neste caso, a enerxía en forma de calor que se transfire do chisqueiro ao azucre (M1).

En relación aos datos recollidos a través dos cuestionarios, cando se pide ás estudantes que escriban o que pensan que sucederá ao quentar azucre, todas coinciden ao sinalar que o azucre se vai derreter. Na seguinte pregunta do cuestionario, na que se pide ás estudantes que xustifiquen a predición anterior, todas sinalan que o aporte de calor fai que o azucre acade a súa temperatura de fusión. As respostas escritas evidencian novamente a activación por parte de todas as participantes deste grupo dun modelo de modificación para interpretar o que pensan que sucede ao quentar azucre. Isto sitúa a estas alumnas no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). A modo de exemplo reproducése a resposta escrita de Gisela (ver Figura 5.13):

Que cres que sucederá cando o azucre contido nun tubo de ensaio se somete á acción da calor?

Que se derretirá.

Por que cres que ocorrerá o que previches?

Porque el calor hace que alcance su punto de fusión.

Figura 5.13. Resposta escrita de Gisela durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento abrangue as quendas de fala 15 a 41 (ver Cadro 5.20). Durante este episodio as participantes desenvolven a experiencia quentado o azucre contido nun tubo de ensaio cun chisqueiro de alcohol ao tempo que observan o que sucede.

Cadro 5.20. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
18	<i>[Graciela]: Que no quede a medias el tubo. Dale por el otro lado. Lo hemos quemado ((risas)).</i>	Dirixe a execución do experimento.
19	<i>[Gloria]: Lo hemos dejado tostado ((risas)).</i>	Interpreta o fenómeno.
24	<i>[Gloria]: ¿Lo quito ya?</i>	Solicita indicacións acerca da execución do experimento.
25	<i>[Graciela]: Cando queiras ((risas)).</i>	Dirixe a execución do experimento.
26	<i>[Gloria]: Se ha empañado el cristal.</i>	Realiza unha observación.
27	<i>[Graciela]: Huele a caramelo ((risas)).</i>	Realiza unha observación.
30	<i>[Profesora]: A ver, escribe o que observáchedes, todos os cambios que vistesdes.</i>	Dá indicacións acerca do desenvolvemento da tarefa.
31	<i>[Gloria]: Cambia de color.</i>	Realiza unha observación.
36	<i>[Gisela]: ¡Oh::! Mira:: queda la mitad, queda la mitad.</i>	Realiza unha observación.
37	<i>[Graciela]: Se derritió y se evaporó, porque queda la mitad.</i>	Dá unha explicación para a diminución de volume.
38	<i>[Gisela]: Claro, primero hirvió y después se evaporó. Y luego se empezó a oscurecer.</i>	Concorda coa explicación da compañeira.

Nas quendas de fala 18 a 19 obsérvase como dúas alumnas, Graciela e Gloria, fan referencia a que o azucre se está a queimar ou tostar. Esta resposta é comparable á descrita noutros traballos como o de Gabel et al. (2001) no que se pon de manifesto que os estudantes parecen considerar o aspecto ennegrecido dos produtos da reacción de descomposición como evidencias de que o azucre se queimou.

Asemade do cambio de cor, na quenda de fala 26 Gloria observa como as paredes do tubo de ensaio empregado para quentar o azucre se embazan. Por outra banda, na quenda de fala 36 outra alumna, Gisela, observa que o contido do tubo de ensaio se reduciu á metade.

Na quenda de fala 37 Graciela constrúe unha posible explicación para a observación efectuada por Gisela, sinalando que o azucre primeiro derrétese e de seguido, evapórase. Esta explicación, semellante á predición inicial, satisfai as expectativas de Gisela, quen a acepta sen ningún tipo de cuestionamento na quenda de fala 38.

A partir da análise das intervencións das estudantes durante o segundo episodio deste evento, podemos concluír que as participantes seguiron activando un modelo de modificación de Andersson (1990) para interpretar o fenómeno. A idea máis reiterada nas súas respostas é aquela que fai referencia a que a durante a transformación unicamente se ven alteradas as propiedades físicas da substancia (cor, estado físico...).

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na pregunta na que se pide que indiquen o observado, todas as participantes escriben que o azucre foi adquirindo unha tonalidade cada vez máis escura ata volverse dunha cor case negra. Asemade, as participantes tamén reflectiron por escrito que apareceron gotas de auga sobre o tubo de ensaio, e que o azucre sufriu varios cambios de estado. Segundo as participantes, o azucre primeiro derreteuse, logo comezou a ferver e seguidamente unha parte evaporouse. A modo de exemplo reproducéase a resposta escrita de Gloria (ver Figura 5.14):

Anota o que observas cando o azucre se somete a unha fonte de calor.

A súa cor foi escurecendo pasando por dourado ata chegar a unha cor case negra. Logo o azucre comezou a derreterse e, cando xa terminara comezou a ferver e logo parte do azucre evaporouse. O tubo de ensaio quedou mollado por dentro.

Figura 5.14. Resposta escrita de Gloria durante a fase de observación

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue as quendas de fala 42 a 81 (ver Cadro 5.21). Durante este episodio as estudantes han de construír unha explicación para o fenómeno tratando de conciliar as observacións efectuadas coa predición inicial.

Nas quendas de fala 48 a 52 ten lugar a construción dunha explicación por parte dunha alumna, Gloria, na que intenta integrar a observación relativa á aparición de gotas de auga sobre o tubo de ensaio. De acordo con Chinn e Brewer (1998), durante o proceso de

raciocinio asociado ao contraste da predición dun fenómeno e a observación posterior, os suxeitos poden (a) descartar as probas en favor da predición inicial; (b) analizar os datos de xeito parcial coa intención de validar a predición inicial; ou (c) analizar de xeito crítico os datos tratando de conciliar as discrepancias existentes entre as observacións efectuadas e a predición. Neste caso, vemos como esta alumna sente a necesidade de descartar o seu modelo previo de modificación a fin de construír unha explicación consistente coa observación. Na quenda de fala 48 a 52 esta alumna comeza a activar un modelo de reacción química ao sinalar que o azucre sofre unha combustión na que se libera dióxido de carbono e auga, de aí a aparición de gotas de auga sobre as paredes do tubo de ensaio. Nesta resposta inclúese a idea de que unha substancia, neste caso o azucre, se transforma noutras substancias diferentes, neste caso dióxido de carbono e auga (RQ1). Esta resposta, na que se identifica a descomposición térmica do azucre cunha combustión, xa foi descrita por Gabel et al. (2001).

Cadro 5.21. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo G

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
48	<i>[Gloria]: No tubo de ensaio quedou:: auga xa que ó facer a combustión:: Bueno pero eso lo hay que explicar abajo.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada na combustión.
50	<i>[Gloria]: Quedou mollado por dentro, non?</i>	Busca ratificar a observación de aparición de auga.
51	<i>[Gisela]: Sí.</i>	Concorda coa observación.
52	<i>[Gloria]: Explicación. En todo proceso de combustión libérase CO₂ e auga e eso fai que as paredes do tubo se empañen.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada na combustión.
53	<i>[Graciela]: Pero a combustión se produce aquí ((facendo referencia ao chisqueiro de alcohol empregado como fonte de calor)).</i>	Introduce un argumento que invalida a explicación da compañeira.
54	<i>[Gloria]: Sí, pero al calentar::</i>	Segue a defender a súa postura.
55	<i>[Graciela]: Ya pero eso es un cambio de estado, no una combustión.</i>	Recorre ao coñecemento teórico como respaldo para o seu argumento.
56	<i>[Gloria]: También cuando el otro día estabas calentándolo estabas quemando la vela.</i>	Establece unha comparativa coa combustión dunha candeia.

57	<i>[Graciela]: Ah, claro, vale.</i>	Acepta a explicación da compañeira.
61	<i>[Gloria]: Vale, ya temenos lo de por qué queda mojado por dentro. Ahora lo otro.</i>	Dirixe a intervención solicitando a explicación das demais observacións.
62	<i>[Graciela]: Gloria:: ¿cuándo salía humo que es?</i>	Solicita unha explicación para o "fume".
63	<i>[Gloria]: Lo que soltaba era agua, vapor de agua.</i>	Identifica o vapor de auga.
64	<i>[Graciela]: Ti cando evaporas auga con sal:: se evapora el agua y queda la sal. Yo pienso que se va el agua y se queda el azúcar. Porque tú cuando evaporas agua con sal ¿sabes?, se evapora el agua.</i>	Establece unha analoxía entre a evaporación de auga con sal e o fenómeno.
65	<i>[Gloria]: Claro, pero todas las partes tienen agua, no es que tengas agua y luego azúcar.</i>	Rexeita a analoxía da compañeira.
66	<i>[Graciela]: ¿Pero entonces por qué quedó líquido? Nacen contradicciones:: ((dirixíndose á profesora)).</i>	Solicita explicacións para as observacións.
73	<i>[Gloria]: Lo de que aparece agua por dentro, eso ya lo tenemos. Sí, porque en la combustión se libera agua también.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada na combustión.
74	<i>[Profesora]: Entonces esto foi unha combustión?</i>	Solicita á alumna que ratifique a súa explicación.
75	<i>[Gloria]: Si, non?</i>	Mantén a súa explicación do fenómeno baseada na combustión.
76	<i>[Profesora]: Non sei, pregunto.</i>	Evita influír na resposta da alumna.
77	<i>[Gloria]: Sale agua.</i>	Considera a auga unha evidencia de que tivo lugar unha combustión.
78	<i>[Profesora]: Ti pensas que entón é unha combustión y entón a auga sae da combustión? Por que chegástedes á conclusión de que en todas as combustión se desprende auga?</i>	Solicita esclarecemento da explicación.
79	<i>[Gloria]: Yo me acuerdo que dijera que la combustión cuando es con oxígeno se desprende CO₂ y agua.</i>	Recorre a un coñecemento teórico como respaldo para a súa explicación.

Nas quendas de fala 53 a 57 prodúcese a confrontación de dous modelos para a interpretación do cambio químico. Esta situación xorde a raíz de que unha das participantes, Gloria, comeza a activar un modelo de reacción química, mentres que outra alumna, Graciela,

segue a defender un modelo de modificación, establecéndose o que Baker (2009) cualifica como conflito mixto de opinións interpersoal. Nesta situación os interlocutores con modelos enfrontados han de proporcionar argumentos a favor ou en contra dun modelo específico coa intención de convencer ao outro (Baker, 2009). Na quenda de fala 53 obsérvase como Graciela introduce a primeira diferenca (Ogborn et al., 1998) ao sinalar que non é o azucre quen experimenta a combustión, senón que a combustión está tendo lugar no chisqueiro de alcohol. Na quenda de fala 54 Gloria defende o seu modelo insinuando que ao quentar tamén se pode xerar unha combustión. Na quenda de fala 55 Graciela baséase neste mesmo argumento para defender o seu modelo de modificación, ao sinalar que o quentamento constitúe un cambio de estado, non unha combustión, polo que continuaría a ser a mesma substancia. Na quenda de fala 56 Gloria establece unha comparativa entre a descomposición térmica do azucre e a combustión dunha candeia, sinalando que a candeia ademais de ser quentada tamén ardía. Este último argumento convence a Graciela, quen remata aceptando o modelo da súa compañeira.

Nas quendas de fala 62 a 66 obsérvase como Graciela sente a necesidade de construír unha explicación que dea conta do desprendemento de vapor de auga ao que ela se refire como fume. Esta alumna semella considerar que esta observación non está ligada á aparición de gotas de auga sobre o tubo de ensaio. Na quenda de fala 64 activa novamente un modelo de modificación ao sinalar que cando na disolución de auga con sal se evapora a auga queda a sal, e que no fenómeno observado puido acontecer algo semellante, evaporándose a auga e quedando unicamente azucre no tubo de ensaio. Esta interpretación suxire que esta alumna considera o azucre como unha especie de substancia humedecida. Nas quendas de fala 73 a 79 vese como na interacción coa profesora, Gloria volve a considerar a explicación baseada na reacción de combustión do azucre.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na pregunta na que se pide que expliquen o sucedido, todas as participantes responden que tivo lugar unha combustión na que se desprende dióxido de carbono e auga, de aí a aparición de auga sobre o tubo de ensaio. A modo de exemplo reproducéase a reposta escrita de

Gisela (ver Figura 5.15). Esta alumna amosou unha actitude bastante pasiva durante a intervención, colaborando moi pouco durante o proceso de construción e reconstrución de explicacións.

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Cuando se produce la combustión, se libera CO₂ y agua, eso hace que el tubo de ensayo quede mojado. El calor hace que el azúcar alcance su punto de fusión y se produce un cambio de estado.

Figura 5.15. Resposta escrita de Gisela durante a fase de explicación

5.4.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo H (EC3)

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado formula predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, comprende as quendas de fala 1 a 27. O segundo episodio, integrado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 28 a 50. O terceiro episodio, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións acerca do fenómeno observado, abrangue as quendas de fala 51 a 117.

Predición

O primeiro episodio deste evento abrangue das quendas de fala 1 a 27 (ver Cadro 5.22). Nas quendas de fala 7 a 9 ten lugar a formulación dunha predición por parte de Héctor. Na quenda de fala 7 vese como este alumno considera que ao quentar azucre o que sucede é que dilata aumentando o seu volume. Na quenda de fala 9 este alumno xustifica a súa predición en base ao aumento de temperatura que leva aparelado o aporte de enerxía en forma de calor. A resposta deste alumno resulta comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990), no que se inclúe a idea de que a substancia segue a ser a mesma (M2), de maneira que durante a transformación unicamente se ven alteradas as súas propiedades físicas, neste caso o seu volume. Alén diso, a resposta deste alumno incorpora a idea da

calor como axente que desencadea o cambio de propiedades da substancia (M1).

Cadro 5.22. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
6	[Helena]: A ver, planteemos una escena. Esto lo estuvimos dando el otro día.	Dirixe o desenvolvemento da tarefa.
7	[Héctor]: Yo voy a poner que se dilata, aumenta su volumen.	Emite unha predición.
8	[Hugo]: Ah, ¿sí? ¿Por qué?	Solicita unha explicación para a predición.
9	[Héctor]: Porque:: ((risas)). Porque se le aplica calor y al subir la temperatura:: yo que sé, algo así.	Dá unha explicación para a predición.
10	[Helena]: Pues a mí no me convence.	Rexeita a predición do compañeiro.
13	[Héctor]: ¿Por qué crees que ocurrirá lo que has predicho?	Le o enunciado da tarefa.
14	[Helena]: Es que a mí no me tiene sentido que se dilate.	Rexeita a predición do compañeiro.
15	[Héctor]: Aumento de temperatura debido al calor cedido por la combustión de la mecha.	Dá unha explicación para a predición.
16	[Helena]: Hugo, ¿tú que pusiste?	Solicita unha predición para o fenómeno.
17	[Hugo]: Aún lo estoy pensando.	Manifesta carecer dunha predición para o fenómeno.
18	[Helena]: Es que a mí no me parece::	Segue a amosar o seu rexeitamento á predición baseada na dilatación.
22	[Helena]: A ver, es que en Biología dimos algo así, como las células creaban azúcar o algo así, y estoy intentando recordar cómo llegaban allí, entonces si se invertía ese proceso puede que me diga qué le pasó.	Intenta recorrer a un coñecemento teórico para emitir unha predición.

Nas quendas de fala 10 a 18 obsérvase como esta predición non resulta plausible para Helena. Na quenda de fala 22 esta alumna intenta apoiarse nun coñecemento adquirido no ámbito escolar acerca do anabolismo celular para formular unha predición. Esta alumna fai referencia a que o proceso de síntese de moléculas complexas que ten lugar nas células posiblemente lle proporcionase as claves para

entender o que vai suceder, dado que considera o fenómeno como un proceso inverso ao anabolismo celular.

En relación ao datos recollidos a través dos cuestionarios, Héctor mantén a mesma resposta que a expresada oralmente durante a interacción en grupo. Este alumno proporciona unha resposta indicadora de que está a activar un modelo de modificación para interpretar o que lle sucede ao azucre ao sinalar que se dilata. Esta predición é reproducida por outro alumno, Hugo, situándose ambos no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014). A resposta escrita de Hugo inclúese a modo de exemplo na Figura 5.16.

Que cres que sucederá cando o azucre contido nun tubo de ensaio se somete á acción da calor?
 Ó proporcionarlle calor aumenta a súa temperatura e entón sufrirá unha dilatación.

Por que cres que ocorrerá o que previches?
 A mecha proporciona calor ó azucre e entón comeza un proceso de aumento de temperatura.

Figura 5.16. Resposta escrita de Hugo durante a fase de predición

Pola súa banda, Helena basea a súa resposta escrita na idea do metabolismo celular, de aí que faga referencia a que o azucre regresa ao seu estado primitivo ao recibir o aporte de calor (ver Figura 5.17).

Que cres que sucederá cando o azucre contido nun tubo de ensaio se somete á acción da calor?
 En este caso, el azúcar al recibir una fuente de calor, volvería a su estado original es decir, el anterior al del azúcar.

Por que cres que ocorrerá o que previches?
 Por las características que tiene la substancia.

Figura 5.17. Resposta escrita de Helena durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento iníciase na quenda de fala 28 e conclúe na quenda de fala 50 (ver Cadro 5.23). Durante dito episodio, os participantes desenvolven a actividade ao tempo que observan o que sucede.

Cadro 5.23. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
37	<i>[Investigadora]: Observade a ver que pasa. [...] Mirade por esta parte de aquí ((sinala a zona do tubo de ensaio onde comeza a aparecer consistencia líquida)).</i>	Dirixe a observación.
38	<i>[Hugo]: Y se empaña.</i>	Realiza unha observación.
39	<i>[Helena]: Esto es líquido de azúcar.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno.
45	<i>[Héctor]: Hombre ahora se supone que esto se solidifica y forma caramelo o algo así.</i>	Emite unha predición.
46	<i>[Investigadora]: Non vos podo decir nada::</i>	Intenta non influír nas respostas dos estudantes.
47	<i>[Héctor]: Se somete a una fuente de calor.</i>	Describe a execución do experimento.
48	<i>[Hugo]: Solidifica. Hay una reacción química.</i>	Realiza unha observación e dá unha explicación para o fenómeno.
49	<i>[Héctor]: No, los cambios de estado no son físicos. O eso pone el libro.</i>	Recorre a un coñecemento teórico para invalidar a explicación do compañeiro.

Na quenda de fala 38 un alumno, Hugo, observa como o tubo de ensaio se embaza. Na quenda de fala 39 Helena refírese á mestura de consistencia líquida que se forma no tubo de ensaio conforme avanza a reacción de descomposición térmica como líquido de azucre, unha descrición que concorda co modelo de modificación de Andersson (1990) para a interpretación dos cambios químicos. Para esta alumna o contido do tubo de ensaio continúa a ser azucre que co aporte de calor pasou de estado sólido a estado líquido. Na quenda de fala 45 outro alumno, Héctor, quere anticiparse ao resultado do fenómeno, sinalando que rematará solidificando e formando caramelo. Na quenda de fala 48 obsérvase como Hugo tamén cre que se volverá sólido, e engade que se está a producir unha reacción química. Na quenda de fala 49 ten lugar a intervención de Héctor, quen introduce unha diferenza (Ogborn et al., 1998) ao sinalar que de producirse unha solidificación a transformación non constituiría un cambio químico, senón un cambio físico por tratarse dun cambio no estado de agregación da substancia.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na pregunta na que se pide que escriban o que observan durante o fenómeno, todos os estudantes responden que tivo lugar un cambio de estado a líquido e un cambio de cor. Asemade, Hugo escribe que durante o proceso se desprende vapor de auga, de aí a aparición de gotas nas paredes do tubo de ensaio (ver Figura 5.18).

Anota o que observas cando o azucre se somete a unha fonte de calor.
Pasa a estado líquido cambiando a su vez el color, y desprendiendo vapor de agua que hace que se empañe el cristal.

Figura 5.18. Resposta escrita de Hugo durante a fase de observación

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue das quendas de fala 51 a 117 (ver Cadro 5.24). Durante este episodio os estudantes constrúen unha explicación para o fenómeno consistente coas observacións efectuadas.

Na quenda de fala 51 obsérvase como Helena demanda a construción dunha explicación para o observado durante o transcurso do fenómeno, ao que Héctor responde na posterior quenda de fala describindo o proceso como un cambio de estado a líquido. Esta resposta indica que este alumno segue a activar un modelo de modificación para interpretar o que lle sucede ao azucre, de aí que se manteña no segundo nivel para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). Fai referencia á idea de que a substancia segue a ser a mesma, véndose alteradas unicamente as súas propiedades físicas, neste caso o estado de agregación (M2). Na quenda de fala 55 obsérvase como Hugo cuestiona o modelo de Héctor ao tempo que propón un modelo alternativo baseado na idea de reacción química. Hugo considera que a transformación que tivo lugar non pode tratarse dun cambio físico por producirse un cambio de cor. Na quenda de fala 57 Hugo engade que se desprende vapor de auga, o que constituiría unha proba a favor de que tivo lugar unha transformación química. Na quenda de fala 58 obsérvase como Héctor defende o seu modelo baseado na modificación de propiedades da substancia argumentando que a condensación que se produce sobre o tubo de ensaio se debe ao vapor

de auga que ten o aire do ambiente. Sen embargo, vese como este alumno comeza a ter dificultades para integrar neste modelo a observación do cambio de cor.

Cadro 5.24. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo H

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
51	[Helena]: <i>Una explicación para esto.</i>	Solicita explicacións.
52	[Héctor]: <i>Se produce un cambio a líquido.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada nun cambio físico.
54	[Héctor]: <i>Una explicación para el cambio de color. Es muy extraño el cambio de color.</i>	Solicita unha explicación para o cambio de cor.
55	[Hugo]: <i>Tú dices que es físico pero yo pienso que es químico porque cambia de color::</i>	Dá unha explicación alternativa baseada nun cambio químico.
56	[Helena]: <i>También cambio de color y más no es un líquido:: es que en sí no va a ser líquido si no un líquido de textura un tanto extraña. Con lo cual no es líquido tampoco.</i>	Amosa dúbidas acerca da posibilidade de que se trate dun cambio físico.
57	[Hugo]: <i>Se perdió vapor.</i>	Recorda unha observación.
58	[Héctor]: <i>Tiene el ambiente. Si no tuviera nada no creo que se empañase. O sea, porque cambio a líquido, no cambio a gas. ¿Pero por qué cambio de color?</i>	Dá unha explicación para a aparición de gotas baseada na condensación de vapor de auga do aire do ambiente.
63	[Héctor]: <i>A ver, yo estaba pensando:: que este color es parecido al color al que se oxidan las cosas pero no creo que tenga que ver. En plan, igual es oxígeno o algo así. No sé.</i>	Establece unha analoxía entre a cor do sistema material e o ferro cando se oxida.
64	[Investigadora]: <i>E a oxidación que é?</i>	Pregunta que tipo de cambio é a oxidación para dirixir a discusión cara a idea de cambio químico.
65	[Héctor]: <i>La oxidación:: ((risas))</i>	Intenta explicar que é a oxidación.
66	[Hugo]: <i>O contacto dun metal co osíxeno.</i>	Axuda ao compañeiro a explicar que é a oxidación.
67	[Investigadora]: <i>Pero que é eso? Unha::</i>	Dirixe a discusión cara a idea de cambio químico.
68	[Hugo]: <i>Unha reacción química.</i>	Identifica a oxidación como un cambio químico.
69	[Investigadora]: <i>E entón que será esto?</i>	Pide que identifiquen o tipo de cambio que sufriu o azucre.

72	<i>[Helena]: Yo me decantaría por la química. Es caramelo y el caramelo no es ni líquido ni sólido, es como una mezcla de ambos.</i>	Identifica como cambio químico a transformación do azucre.
76	<i>[Investigadora]: A ver que puxestes?</i>	Solicita explicacións.
77	<i>[Héctor]: A ver, pues yo puse se produce una reacción química entre el azúcar y el aire que había en el tubo de ensayo. Pienso que si no hubiese aire la reacción hubiese sido plenamente física del azúcar.</i>	Dá unha explicación baseada na idea de cambio químico introducindo como reactivo o aire.
81	<i>[Helena]: Que es un cambio químico pero::</i>	Identifica o cambio como químico.
82	<i>[Hugo]: Yo creo que es un cambio químico también pero que libera alguna sustancia por eso cambia de color el azúcar y otros componentes quedan en este estado con color oscuro.</i>	Dá unha explicación baseada na idea de cambio químico.
96	<i>[Investigadora]: Xa, entón esas gotiñas de auga que están por aquí por fóra por que aparecen? O sea a que se deben?</i>	Solicita unha explicación para a aparición de gotas.
97	<i>[Helena]: Vapor de agua.</i>	Identifica o vapor de auga como a causa da aparición de gotas.
98	<i>[Investigadora]: E ese vapor de auga de onde sae?</i>	Pregunta acerca da procedencia do vapor de auga.
99	<i>[Helena]: De la reacción?</i>	Identifica o vapor de auga como un dos produtos da reacción.
100	<i>[Héctor]: A ver, yo pienso que:: ((soa o timbre)). A ver yo pienso que esto es como lo que pasa en la ventana. Simplemente el aire que había por ahí, ¿no?</i>	Identifica a aparición de gotas coa condensación de vapor de auga do aire do ambiente.
101	<i>[Investigadora]: E despois cando estábades quentando o azucre vistedes algo máis?</i>	Solicita máis observacións.
102	<i>[Héctor]: Vamos, yo ví como burbujas.</i>	Recorda a observación de burbullas.
104	<i>[Investigadora]: Como burbujas, vale. E esas burbujas porque pensades que sairon?</i>	Pide unha explicación para a observación das burbullas.
106	<i>[Helena]: ¿Por el carbono?</i>	Dá unha explicación para a observación de burbullas.
107	<i>[Hugo]: Por una molécula que se libera.</i>	Identifica as burbullas cunha molécula que se libera durante a reacción.

108	<i>[Investigadora]: Polo carbono?</i>	Solicita esclarecemento.
109	<i>[Helena]: Sí, es más o menos como las bebidas gaseosas que tiene como::</i>	Establece unha analoxía entre as burbullas observadas e as bebidas carbónicas.
110	<i>[Investigadora]: Si, pero ti pensa que as bebidas gaseosas por exemplo, a ver que teñen? Ten que ser un gas porque se burbulla.</i>	Dirixe a discusión para que identifiquen a aparición de burbullas cun gas/vapor.
113	<i>[Helena]: Pero el azúcar tendrá CO₂ entonces:: yo que sé, tiene algo.</i>	Identifica o CO ₂ como unha especie que forma parte do azucre.

En posteriores intervencións de Héctor vaise percibindo como o modelo de modificación empregado por este alumno para interpretar o que lle sucede ao azucre comeza a evolucionar cara o modelo de reacción química. Na quenda de fala 63 obsérvase como este alumno chega a describir o fenómeno como unha oxidación pola semellanza que aprecia entre a coloración que adquire a mestura e certos metais como o ferro cando se oxidan ao estar en contacto co osíxeno do aire. Na quenda de fala 72 vese como outra alumna, Helena, tamén comeza a activar un modelo incipiente de reacción química ao sinalar que se formou caramelo, entendendo este como unha substancia completamente diferente ao azucre.

Por outra banda, na quenda de fala 76 a investigadora pide aos estudantes que expresen verbalmente o que escribiron no cuestionario. Ante esta demanda, na quenda de fala 77 ten lugar a construción dunha explicación por parte de Héctor baseada nunha interacción química entre o azucre e o aire. Esta interpretación de Héctor na que se pon de manifesto a necesidade de incorporar máis dun reactivo é semellante ás descritas noutros traballos como o de Eilks et al. (2007). Estes autores tamén concluíron que o alumnado participante no seu estudo (12-13 anos) tiña dificultades para entender que a partir dun único reactivo se pode desencadear unha reacción química, de aí a necesidade de introducir na aula exemplos de reaccións de descomposición para que os estudantes poidan construír referentes empíricos axeitados. Na quenda de fala 82 obsérvase como Hugo segue a manterse no modelo de reacción química e malia que non relaciona a cor escura coa presenza de carbono, semella ter claro que

o cambio de cor se debe a se desprende algunha substancia durante o proceso, quedando soamente algúns dos elementos constituíntes do azucre.

Na quenda de fala 96 a investigadora pide aos estudantes que expliquen a que se debe a aparición de gotas sobre a superficie do tubo de ensaio. Nas quendas de fala 97 e 99 intervén Helena sinalando que as gotas de auga son debidas ao vapor de auga que se forma durante a reacción química. A intervención desta alumna é especialmente relevante xa que vese como identifica a auga como un dos produtos da descomposición térmica do azucre. Pola contra, na quenda de fala 100 obsérvase como Héctor se resiste a integrar esta observación no seu modelo mental, facendo referencia a que o vapor de auga que condensa sobre o tubo de ensaio procede do aire do ambiente.

Na quenda de fala 104 a investigadora pide aos estudantes que expliquen a que se debe a formación de burbullas. Na quenda de fala 106 intervén Helena sinalando que as burbullas aparecen debido ao carbono. Cando a investigadora pide que aclare a súa resposta, a partir da intervención que realiza na quenda de fala 109, vese como esta alumna establece unha asociación entre as bebidas carbónicas que levan disolto dióxido de carbono (CO_2) e o efecto que se produce polo desprendemento de vapor de auga durante a descomposición térmica do azucre. Pola súa banda, na quenda de fala 107 obsérvase como Hugo proporciona unha resposta consistente co modelo de reacción química que activou durante a meirande parte da intervención. Este alumno non chega a relacionar a formación de burbullas co desprendemento de vapor de auga, pero si semella ter claro que a formación de burbullas se debe á liberación dalgunha molécula.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na última pregunta na que se pide que escriban unha explicación para o observado, todos os participantes deste grupo mencionan de xeito explícito o termo de “reacción química”, dando respostas que podemos considerar indicadoras de que están a activar un modelo de reacción química no que se incorpora a idea de que unha substancia se transforma noutras substancias diferentes (RQ1). Helena fai referencia a que ten lugar un cambio químico que provoca que se obteña unha

substancia cunhas propiedades totalmente diferentes ás do azucre a partir da cal resulta complexo volver a obter a substancia orixinal. Nesta resposta ponse de manifesto a idea da irreversibilidade. Unha idea amplamente estendida entre o alumnado que dificulta a comprensión doutros conceptos máis sofisticados como o equilibrio químico, fai referencia á consideración de que todos os cambios químicos se producen de maneira irreversible (Rocha, 2011). Outro alumno, Hugo, fai referencia a que tivo lugar unha reacción química na que se liberou algún compoñente do azucre, de aí o cambio observado na cor (ver Figura 5.19). Pola súa banda, Héctor mantense na idea de interacción química entre o azucre e o aire que había no tubo de ensaio, engadindo que de non haber aire a transformación houbera sido física.

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Ocorreu unha reacción química na cal se desprende algún compoñente do azucre e por iso cambia de cor.

Figura 5.19. Resposta escrita de Hugo durante a fase de explicación

5.4.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo I

A análise do discurso estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos. O primeiro episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado emite predicións acerca do que pensan que sucederá ao quentar azucre, abrangue as quendas de fala 1 a 9. O segundo episodio, conformado polas intervencións da etapa de observación, comprende as quendas de fala 10 a 60. O terceiro e último episodio deste evento, constituído polas intervencións nas que o alumnado constrúe explicacións en base ás observacións efectuadas, abrangue as quendas de fala 61 a 151.

Antes de proceder coa descrición dos resultados, cómpre mencionar que durante esta actividade estivo ausente Ingrid, unha das integrantes do grupo I. Asemade, outra das participantes, Idaira, incorporouse tardiamente á intervención na aula. No momento en que chegou Idaira, as demais integrantes do grupo, Irene e Iris, xa executaran a experiencia e estaban comezando a construír unha

explicación para o observado. Esta incorporación tardía obrigou a que esta alumna tivera que formular a predición en solitario, e tamén obrigou a repetir a experiencia arredor das quendas de fala 99 a 101.

Predición

O primeiro episodio deste evento abrangue da quenda de fala 1 a 9 (ver Cadro 5.25). As participantes deste grupo amosaron pouca implicación durante esta primeira parte da tarefa. A brevidade deste episodio pon en evidencia que a discusión que emerxeu durante a formulación de predicións foi pouco frutífera, dispoñéndose case de inmediato a desenvolver a experiencia. Asemade, a isto hai que engadir que das nove quendas de fala que integran este primeiro episodio, unicamente catro quendas de fala se corresponden con intervencións ligadas á tarefa.

Cadro 5.25. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	<i>[Irene]: Que crees que sucederá cuando el azúcar en un tubo de ensayo se someta a la acción del calor. Que el azúcar se convierte en caramelo, ¿no? Porque se derrite.</i>	Le o enunciado da actividade, emite unha predición e dá unha explicación para a predición.
2	<i>[Iris]: Hombre, ¿el caramelo está formado por azúcar?</i>	Solicita información acerca da composición do caramelo.
7	<i>[Iris]: Profe, ¿el azúcar tiene algún tipo de líquido o algo así? O sea en plan como::</i>	Solicita información á profesora para coñecer se o caramelo está formado por azucre.
8	<i>[Profesora]: O que ti pensas, non o que eu che diga. Se trata de saber que pensades vós e logo ela ten que valorar eso.</i>	Pide ás alumnas autonomía no desenvolvemento da actividade.

Na quenda de fala 1 (ver Cadro 5.25) ten lugar a formulación dunha predición por parte de Irene. Esta alumna sinala que cando o azucre se quenta se converte en caramelo. Como xustificación da predición, esta alumna indica que o cambio se debe a que o azucre se derrete. A partir desta intervención resulta complexo inferir o modelo que está a activar a alumna para interpretar o que lle sucede ao azucre,

pois non queda claro se Irene concibe o caramelo como unha substancia diferente do azucre ou non. De considerar o caramelo como unha substancia diferente ao azucre estaríamos ante un modelo incipiente de reacción química ou un modelo de transmutación, segundo se conservase ou non a identidade a nivel atómico. De considerar que o caramelo segue a ser azucre que sufriu un cambio de propiedades físicas como o estado de agregación ou a cor, estaríamos ante un modelo de modificación de Andersson (1990). A xustificación que proporciona esta alumna para a súa predición, na que fai referencia a que o azucre se convirte en caramelo porque se derrete, quizais suxire que esta alumna pensa no caramelo como azucre en estado líquido.

Na quenda de fala 2 prodúcese a intervención de Iris quen pregunta se o azucre está formado por caramelo. A pregunta formulada por esta alumna si parece suxerir que entende o caramelo como azucre en estado líquido. A idea de que o caramelo segue a ser a mesma substancia que o azucre véndose alteradas unicamente as súas propiedades físicas (M2) é comparable ao modelo de modificación de Andersson (1990), situándose deste xeito no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto no traballo de Hadenfeldt et al. (2014).

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na pregunta na que se pide ás participantes que escriban o que pensan que sucede ao quentar azucre, tanto Iris como Irene responden que o azucre se derrete e se converte en caramelo. Ambas participantes xustificaron as súas predicións en base a que o azucre se derrete ao verse sometido a unha fonte de calor (ver Figura 5.20).

Que cres que sucederá cando o azucre contido nun tubo de ensaio se somete á acción da calor?

Que o azucre se convertirá en caramelo por derretirse.

Por que cres que ocorrerá o que previches?

Porque al someter el azúcar a calor se derrite.

Figura 5.20. Resposta escrita de Irene durante a fase de predición

En canto a Idaira, que chegou tarde á implementación da actividade, escribiu no cuestionario que o azucre se volve líquido e marrón, xustificando esta resposta en base a que o azucre se derrete. Esta predición evidencia que esta alumna tamén activou un modelo de modificación segundo o cal o azucre unicamente sofre un cambio de propiedades físicas durante a transformación.

Observación

O segundo episodio deste evento iníciase na quenda de fala 10 e conclúe na quenda de fala 60. Durante dito episodio (ver Cadro 5.26), as participantes desenvolven a actividade ao tempo que observan o que sucede ao quentar o azucre.

Na quenda de fala 24 intervéen Irene para expresar verbalmente a primeira das observacións (ver Cadro 5.26). Esta alumna percibe que o tubo de ensaio se está embazando, pero non relaciona a aparición de gotas de auga coa condensación de vapor de auga. Na quenda de fala 26 vese como esta alumna presenta dificultades para identificar a substancia que condensa sobre o tubo de ensaio, malia que xa tiveran a oportunidade de observar un fenómeno semellante durante a combustión da candeia que era cuberta cun recipiente.

Na quenda de fala 31 prodúcese de novo a intervención de Irene quen menciona que o azucre se converteu en caramelo. Ao igual que sucedera durante a fase de predición, a partir desta intervención non queda claro se a alumna considera o caramelo como unha substancia diferente ao azucre ou ben considera o caramelo como azucre cuxas propiedades físicas se viron alteradas durante a transformación, de aí o cambio de cor e o cambio no estado de agregación. De situarse na primeira interpretación, a alumna estaría a activar un modelo de transmutación ou un modelo incipiente de reacción química segundo o cal unha substancia se transforma noutras substancias diferentes (T1/RQ1). De acollerse á segunda interpretación, a alumna estaría a activar un modelo de modificación segundo o cal a substancia segue a ser a mesma, véndose alteradas unicamente as súas propiedades físicas (M2) debido ao aporte de enerxía en forma de calor (M1).

Nas quendas de fala 37 a 41 establécese unha discusión entre as dúas participantes do grupo presentes nese momento da intervención,

Iris e Irene, acerca da conveniencia ou non de proseguir co aporte de calor.

Cadro 5.26. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo I

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
24	<i>[Irene]: Mira el tubo ((referíndose ao embazamento)), porque también hace en plan::</i>	Dirixe a observación.
25	<i>[Profesora]: E eso vese, eso é importante. Ti tes que observar todas as cousas que vexas, vale?</i>	Anima ás participantes a efectuar observacións.
26	<i>[Irene]: Pero es que:: ¿que puede ser eso? Porque agua::</i>	Solicita unha explicación para a observación.
27	<i>[Profesora]: Ti pensa. Ti, ti:: se trata de que reflexes o que alomenos:: o que se che pode ocurrir que xustifique eso, vale?</i>	Pide ás participantes que expliquen o observado.
30	<i>[Iris]: Ay, pero huele super bien.</i>	Cualifica como agradable o olor desprendido.
31	<i>[Irene]: En estos momentos el azúcar ya se ha convertido en caramelo ((falande de cara á gravadora)).</i>	Realiza observacións.
37	<i>[Irene]: Vale, ¿pero qué hago? ¿Apago eso?</i>	Solicita información acerca do desenvolvemento da tarefa.
38	<i>[Iris]: No, ¿no?</i>	Dirixe o desenvolvemento da tarefa.
39	<i>[Irene]: ¿La velita esa? ((referíndose ao chisqueiro de alcohol empregado para quentar o azucre)).</i>	Solicita información acerca do desenvolvemento da tarefa.
40	<i>[Iris]: Joba, pues mira que aún le queda.</i>	Quéixase da duración do proceso.
41	<i>[Irene]: Es que sino se va a chamuscar.</i>	Identifica o fenómeno como unha combustión de seguir co aporte de calor.
42	<i>[Iris]: Bueno, ¡igual se evapora!</i>	Dá unha explicación alternativa baseada na evaporación.
43	<i>[Irene]: No creo que se evapore.</i>	Rexeita a idea de evaporación da súa compañeira.
44	<i>[Iris]: ¿Se puede llegar a evaporar el azúcar? ((dirixíndose á profesora))</i>	Pregunta á profesora acerca da plausibilidade da súa explicación.
45	<i>[Profesora]: Pois eso tendrás que probar ti. Si sigues quentando que pasa? Ti mira, ti mira por allí.</i>	Anima á alumna a proseguir coas observacións e a reflexionar por si mesma.
51	<i>[Iris]: Ahora huele a chamusquina.</i>	Cualifica como desagradable o olor desprendido.

52	<i>[Irene]: ¡Pues apúntalo!</i>	Dirixe a actividade.
52	<i>[Iris]: ¿Y que quieres que ponga?</i>	Solicita esclarecemento da tarefa a desenvolver.
54	<i>[Irene]: Anota todo lo que observas cuando el azúcar se somete a una fuente de calor.</i>	Le o enunciado da tarefa.
55	<i>[Iris]: Pues que se quema. Primero se derritió y se convirtió en caramelo y luego se empezó a quemar.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno.

Na quenda de fala 41 obsérvase como Irene considera conveniente dar por finalizada a actividade alegando que, de seguir subministrando calor ao contido do tubo de ensaio, se ía chamuscar. Esta resposta, semellante ás recollidas no traballo de Gabel et al. (2001), pon en evidencia as dificultades que posúen os estudantes para diferenciar adecuadamente entre combustión e descomposición térmica. Gabel et al. (2001) xa observaran entre os estudantes participantes no seu estudo (8 a 13 anos) a tendencia a considerar a cor negra dos produtos resultantes da transformación como evidencias de que o azucre se queimara. Esta asociación pode proceder do uso que se fai na linguaxe común das palabra “queimar” ou “arder”, as cales tamén se empregan na linguaxe científica ao tratar o proceso de combustión. A translación destas asociacións da linguaxe diaria á linguaxe científica poden constituír un obstáculo epistemolóxico para comprender certos conceptos científicos como a combustión. Na quenda de fala 42 prodúcese a intervención de Iris quen responde a Irene sinalando que quizais se evapore. Na quenda de fala 44 vese como Iris pregunta á profesora acerca da posibilidade de que o azucre se chegue a evaporar de continuar co aporte de calor. A cuestión que formula esta alumna suxire que segue a activar un modelo de modificación para interpretar o que lle sucede ao azucre, ao considerar que o contido do tubo de ensaio segue a tratarse da mesma substancia que ao inicio.

Na quenda de fala 51 prodúcese a intervención de Iris sinalando que cheira a chamusco. En base a isto, a alumna muda o seu modelo de modificación e comeza a situarse nun modelo de reacción química ao sinalar que o azucre se está a queimar. Así o expresa na quenda de fala 55 onde esta alumna menciona que o azucre primeiro derreteuse, logo converteuse en caramelo para finalmente comezar a queimarse.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na pregunta na que se pide ás participantes que escriban todo o que observaron durante o desenvolvemento da experiencia, tanto Iris como Irene responden que o azucre cambiou de cor adquirindo unha tonalidade marrón, se derreteu e ao pasar un certo tempo ao fogo comezou a queimarse (ver Figura 5.21). Asemade, Irene engade que sobre as paredes do tubo de ensaio condensou unha substancia que non eran quen de identificar. En canto a Idaira, que chegou tarde á implementación da actividade, escribiu no cuestionario que o azucre se derreteu e cambiou de cor volvéndose marrón escuro.

Anota o que observas cando o azucre se somete a unha fonte de calor.
 Primero el azúcar empezó a cambiar de color y a ponerse en un tono marrón, y a derretirse, luego pasado un tiempo empezó a quemarse y a desprender un olor más a quemado.

Figura 5.21. Resposta escrita de Iris durante a fase de observación

Explicación

O terceiro episodio deste evento abrangue das quendas de fala 61 a 151. Durante dito episodio (ver Cadro 5.27) as participantes constrúen unha explicación para o observado.

Ante a última pregunta do cuestionario na que se pide ao alumnado que constrúa unha explicación científica para o sucedido, na quenda de fala 72 vese como Irene asume que esta cuestión implica activar un esquema de representación microscópico para interpretar o fenómeno en termos de partículas (átomos e moléculas). Na quenda de fala 73 obsérvase como Iris interpreta o fenómeno como unha combustión, situándose no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014) ao activar un modelo de reacción química. Na quenda de fala 78 obsérvase como Irene se amosa contraria á idea de combustión. Esta alumna, que durante a meirande parte da observación, defendera a idea de que o fenómeno podía consistir nunha combustión, polo olor desprendido durante o proceso que cualificaron como “olor a chamusco”, entra nunha fase de desconcerto

na que chega a considerar que “hai cousas inexplicables que suceden por que si”, tal e como comenta na quenda de fala 94.

Cadro 5.27. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo I

Quenda	Transcripción	Análise do discurso
70	<i>[Irene]: Por si cae en el suelo y no lo podemos encontrar. Escribe una explicación científica.</i>	Le o enunciado da tarefa.
71	<i>[Iris]: Ya, pero es que no sé explicarlo científicamente. ¿Con palabras muy así:: muy científicas? ((dirixíndose á profesora)).</i>	Amosa incapacidade para explicar o sucedido desde o punto de vista da ciencia.
72	<i>[Irene]: Los átomos que se encuentran en el azúcar:: ((risas)).</i>	Chancea sobre a pregunta do cuestionario.
73	<i>[Iris]: O sea:: combustión de aire. ¿Eso fue una combustión?</i>	Identifica o proceso como unha combustión e solicita aceptación por parte do grupo.
74	<i>[Irene]: Espera.</i>	Pide á compañeira un momento de pausa.
75	<i>[Iris]: A ver, ¿es una combustión?</i>	Insiste en confirmar se o fenómeno consistiu nunha combustión.
78	<i>[Irene]: No, no es una combustión.</i>	Rexeita a idea de combustión.
92	<i>[Profesora]: Trátase de que poñas ti o que pensas das cousas.</i>	Anima ás estudantes a reflectir as súas respostas de xeito individual.
93	<i>[Iris]: O sea que el azúcar se quema y que al quemarse::</i>	Identifica o fenómeno como unha combustión.
94	<i>[Irene]: Eso es inexplicable. Hay cosas que pasan así porque así.</i>	Manifesta incapacidade para explicar o fenómeno.
95	<i>[Profesora]: A ver, as cousas non pasan porque sí. As cousas teñen unha explicación. Ti podes sabelo ou non, ou intentar buscarlla, vale?</i>	Anima ás estudantes a pensar nunha explicación para o observado.
105	<i>[Irene]: Mira, mira, que sube. Eso no lo anoté.</i>	Realiza observacións.
106	<i>[Profesora]: Porque ó mellor antes non o viches.</i>	Insta a engadir as observacións que pasaran desaparcibidas.
108	<i>[Irene]: Eso es caramelo.</i>	Identifica o contido do tubo de ensaio con caramelo.
109	<i>[Iris]: No, ¿no?</i>	Rexeita a idea da compañeira.

110	[Idaira]: <i>Sí, es caramelo, ¿verdad?</i>	Acepta a idea da compañeira.
111	[Irene]: <i>Eh::, ¿y por que está subiendo?</i>	Solicita explicacións.
112	[Idaira]: <i>Lo ves, ya se está volviendo negro.</i>	Realiza observacións.
120	[Idaira]: <i>Bueno, ¿lo quito?</i>	Pide instrucións acerca da execución da actividade.
121	[Profesora]: <i>Si, eu creo que o podemos deixar.</i>	Dá instrucións acerca da execución da actividade.
122	[Idaira]: <i>Ay mira::! Lo quemé.</i>	Identifica o fenómeno como unha combustión.
138	[Idaira]: <i>Se derretió completamente y empezó a oler a caramelo. Finalmente:: finalmente, ¿qué paso? A ver, una explicación científica y le ponemos en plan::</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario e solicita explicacións.
141	[Iris]: <i>¿Qué explicación científica le habéis dado?</i>	Solicita explicacións.
142	[Idaira]: <i>A ver, pues que se produce un cambio químico y entonces se desprenden gases.</i>	Identifica o fenómeno como un cambio químico.
143	[Iris]: <i>¿Se produce un cambio químico?</i>	Amosa dúbidas acerca de que o azucre sufrise un cambio químico.
144	[Irene]: <i>No azucre.</i>	Identifica o azucre como reactivo.
148	[Idaira]: <i>Un cambio químico en el azúcar al calentarlo soltando gases:: ((lendo en voz alta a medida que escribe e nese momento sona o timbre)) que se condensan en las paredes del recipiente y ahí ponemos O₂, en plan, HO₂.</i>	Le a explicación rexistrada no cuestionario na que identifica o fenómeno como un cambio químico.
149	[Iris]: <i>H₂O.</i>	Corrixe a resposta da compañeira.
150	[Idaira]: <i>Y:: en:: otros que se liberan al aire produciendo olores:: ((lendo en voz alta a medida que escribe)) produciendo ese olor a azúcar. Punto. A caramelo, porque es que azúcar ya no tiene, a caramelo. Y ya está.</i>	Continúa lendo en voz alta a explicación rexistrada no cuestionario.

Posteriormente, arredor das quendas de fala 99 a 121, repítese de novo a experiencia para que Idaira, quen se incorpora á intervención no instante correspondente á quenda de fala 82, poida ver o que sucede ao quentar o azucre. Durante a repetición da actividade as demais integrantes do grupo dan conta de novas observacións. Na

quenda de fala 105 intervéen Irene para sinalar que antes non se decatara de que a mestura sube, referíndose ao aumento de volume que acompaña ao proceso de descomposición térmica. Na quenda de fala 108 obsérvase como Irene mantén a idea de que o azucre se converte en caramelo, se ben a partir desta intervención non é posible concluír se esta alumna concibe o caramelo como unha substancia diferente ou considera que segue a ser azucre con diferente aspecto.

Na quenda de fala 120 prodúcese a intervención de Idaira para preguntar se debe continuar quentando a mestura ou se pola contra xa foi suficiente. Na quenda de fala 122 esta mesma alumna sinala que acabou queimando o azucre. Vese como de novo xorden as dificultades das estudantes para diferenciar entre combustión e descomposición térmica, identificando a cor negra que adquire o remanente do tubo de ensaio como unha proba a favor de que o azucre se queimou (Gabel et al., 2001).

Nas quendas de fala 138 a 150 obsérvase como a incorporación de Idaira ao grupo conduciu a unha reconstrución das explicacións. Na quenda de fala 142 intervéen Idaira para interpretar o fenómeno en termos dun cambio químico no que ten lugar o desprendemento de gases. Esta explicación, consistente co modelo de reacción química, afástase da idea segundo a cal o azucre se queimara. Por primeira vez concíbese o proceso como un cambio químico sen chegar a describilo como unha combustión. Na quenda de fala 148 esta alumna, Idaira, identifica o vapor de auga como un dos produtos liberados durante a transformación, sinalando isto como a causa da aparición de gotas nas paredes do tubo de ensaio. Asemade, na quenda de fala 150 obsérvase como Idaira escribe no cuestionario que hai outros gases que se desprenden durante a transformación que pasan ao aire producindo olor a azucre. Non obstante, de inmediato rectifica esta última palabra, e substitúe a expresión de “producindo olor a azucre” por “producindo olor a caramelo”, xustificando este cambio en base a que o que queda no tubo de ensaio xa non é azucre. Porén, no caso particular desta alumna si que queda claro que interpreta o caramelo como unha substancia distinta ao azucre, afastándose do modelo de modificación e situándose no modelo de reacción química. O modelo que exhibe

Idaira durante este fragmento final do discurso semella ser compartido por Irene, mentres que Iris se amosa un pouco escéptica ao respecto.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, na última pregunta na que se pide que expliquen o sucedido, tanto Idaira como Irene sosteñen a visión de que tivo lugar un cambio químico durante o cal se produciron gases, dos cales o vapor de auga condensou sobre as paredes do recipiente, mentres que os outros pasaron a formar parte do aire producindo olor a “caramelo” (ver Figura 5.22). Estas dúas estudantes foron quen de construír unha explicación do fenómeno moi próxima á visión científica, malia que non chegaron a identificar o remanente do tubo de ensaio con carbono. En canto a Iris, esta alumna explica o fenómeno en termos dunha combustión, facendo referencia a que a calor fai que o azucre se queime e ao queimarse cambia de cor.

Escribe unha explicación científica para as túas observacións.
Se produce un cambio químico en el azúcar al calentarlo, soltando gases que se condensan en las paredes del recipiente (H_2O) y otros se liberan al aire produciendo ese olor a caramelo.

Figura 5.22. Resposta escrita de Idaira durante a fase de explicación

5.4.5.7 Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 3 (EC3)

Neste estudo de casos (EC3) pretendeuse describir os modelos mentais que varios estudantes do último curso (15 a 16 anos) da Educación Secundaria Obrigatoria en España activan cando intentan dar sentido a dous fenómenos cotiáns como a combustión dunha candeia e a descomposición térmica do azucre. Tamén se pretendeu describir como os modelos iniciais do alumnado se poden aproximar ao modelo da ciencia escolar cando se lles dá tempo de reflexionar e discutir, e ademais se enfrontan a preguntas que retan os seus modelos.

En relación aos modelos empregados para predicir e explicar o fenómeno de combustión, en xeral, podemos concluír, en base aos resultados obtidos, que se ben durante o ensino do cambio químico unicamente se presenta o modelo de reacción química, o alumnado activa outros modelos alternativos ao modelo da ciencia escolar para

interpretar a combustión dunha candea. Dúas participantes, Gisela (EC3-G) e Ingrid (EC3-I), estableceron como predición que a candea se ía apagar ao tapala cun recipiente. Estas alumnas xustificaron a súa reposta en base a unha desaparición da substancia, neste caso do osíxeno, situándose no nivel de progresión máis baixo para a comprensión das propiedades e as transformacións químicas (Hadenfeldt et al., 2014). Os demais participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) que estiveron presentes durante esta primeira intervención, que constitúen un total de seis estudantes, describiron inicialmente a combustión dunha candea en termos de transmutación (Andersson, 1990; Watson et al., 1997), situándose no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). Para os estudantes que activaron este modelo, o osíxeno era alimento para a chama, e non fixeron referencia a unha interacción química entre o osíxeno do aire e o combustible da candea.

En relación ao efecto que tivo sobre os modelos iniciais dos estudantes conceder a oportunidade de observar, reflexionar e discutir sobre a posible interpretación dos fenómenos, cómpre destacar que a investigadora tivo que intervir en numerosas ocasións con preguntas que supoñían retos cognitivos para os participantes e os animaban a discutir a coherencia dos seus modelos. Tras observar o fenómeno, soamente un estudante, Hugo (EC3-H), comezou de inmediato a activar un modelo incipiente de reacción química. Este alumno fixo referencia a unha interacción química entre a cera da candea e o osíxeno do aire para producir dióxido de carbono. Coincidindo cos resultados doutros traballos (e. g. Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997), este alumno non identificou a auga como un produto da combustión de hidrocarburos como a parafina. Unha estudante, Helena (EC3-H), seguiu activando un modelo de transmutación durante toda a intervención, no que incorporou a idea ou elemento explicativo que contempla a transformación dunha substancia noutra diferente sen manterse a identidade dos elementos, neste caso o osíxeno transmutaríase en dióxido de carbono. Outra alumna, Ingrid (EC3-I), despois da observación tamén deu respostas que podemos considerar indicadoras de que esta alumna activou un modelo de

transmutación ao facer referencia á idea do osíxeno como alimento para a chama. Esta alumna, que inicialmente describira a combustión dunha candeia en termos de desaparición de substancias, pasou a situarse no segundo nivel para a comprensión das propiedades e cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014).

Por outra banda, a interacción social fomentada a través das preguntas retadoras da investigadora, propiciou que cinco participantes, entre as que se atopan Gisela (EC3-G), Gloria (EC3-G), Graciela (EC3-G), Irene (EC3-I) e Idaira (EC3-I), activaran novos modelos segundo o material no que centraran a observación. Cando estas alumnas se fixaban na mecha si consideraban que se producía unha reacción química de combustión. Neste caso as participantes facían referencia a unha interacción química entre a mecha e o osíxeno do aire desde unha perspectiva macroscópica, se ben non existen evidencias de que interpretasen o fenómeno desde un esquema de razoamento microscópico. Cando se fixaban na cera, a transformación que sinalan era que se fundía, activando o modelo de modificación da sustancia. En xeral, a cera tiña para elas unha función unicamente de soporte ou de retardo da combustión da mecha. Estes achados son semellantes aos descritos en estudos previos (e. g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997). Coincidindo co resultado de investigacións previas (e.g. BouJaoude, 1991), as interpretacións do fenómeno de combustión foron inconsistentes e dependentes do contexto. Certos autores como Prieto et al. (1992) atribúen esta falta de consistencia nas interpretacións a que os estudantes están inmersos nun proceso de reconstrución dos seus propios modelos na procura dun maior poder explicativo.

A modo de resumo, na Figura 5.23 represéntase graficamente a evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) ao enfrontarse ao fenómeno de combustión dunha candeia no interior dun recipiente. Este tipo de representación proporciona máis información que un gráfico convencional ao reflectir cantos estudantes modificaron o seu modelo inicial e cara que modelo se produciu o cambio (Harris & Gold, 2018; Varela et al., 2020). Por exemplo, catro estudantes describiron inicialmente a combustión dunha candeia como transmutación, para ao final da intervención activar un modelo híbrido

de modificación e reacción química segundo o material da candeia no que centraran a interpretación.

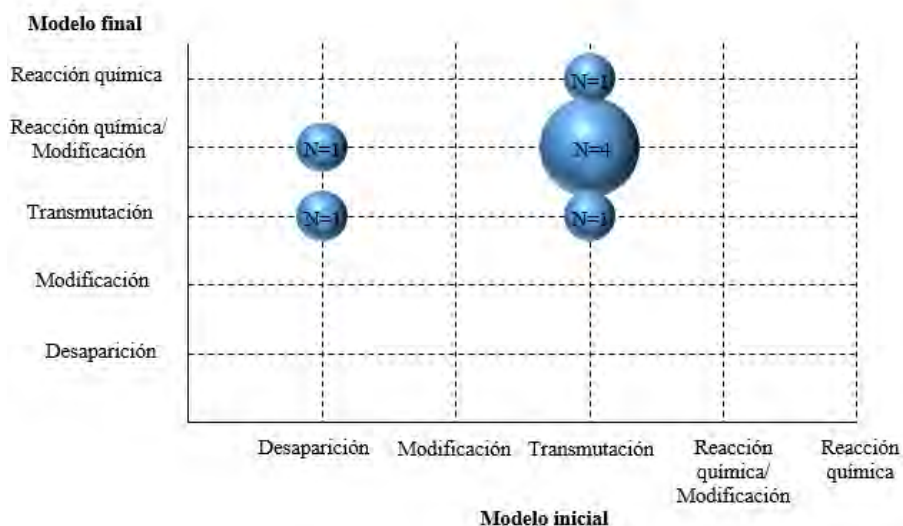


Figura 5.23. Evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) ao interpretar a combustión dunha candeia. Cada círculo representa os modelos mentais que activaron os participantes durante a fase de predición (eixe horizontal) e ao final da intervención (eixe vertical). O tamaño dos círculos representa o número de participantes que experimentaron cada cambio

En relación aos modelos empregados para predicir e explicar o fenómeno de descomposición térmica obsérvase como, en xeral, os participantes describen inicialmente o proceso como unha modificación ou transmutación de substancias. Ante a pregunta na que se pide aos participantes que pensen no que sucede ao queimar azucre, seis estudantes dun total de nove participantes que estiveron presentes durante esta segunda intervención, deron respostas comparables ao modelo de modificación (Andersson, 1990). A idea máis reiterada foi a que fai referencia a que se alterarían certas propiedades físicas do azucre debido á transferencia de calor, pero seguiría a ser a mesma substancia. Dous estudantes, Hugo (EC3-H) e Héctor (EC3-H), estableceron como predición que o azucre dilataríase, e catro estudantes, entre os que se atopan Graciela (EC3-G), Gisela (EC3-G), Gloria

(EC3-G) e Idaira (EC3-I), sinalaron que o azucre se derretería, dando a entender que esta substancia unicamente mudaría de estado físico, neste caso de estado sólido a líquido. Outras dúas alumnas, Irene (EC3-I) e Iris (EC3-I), mencionaron que o azucre se convertería en caramelo. De considerar o caramelo como unha substancia totalmente diferente ao azucre na que non se conserva a identidade dos elementos, as respostas destas alumnas serían comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990). Pola contra, de considerar que o caramelo segue a ser azucre baixo unha aparencia diferente debido ao cambio de propiedades físicas como a cor ou o estado físico, as respostas destas alumnas serían comparables ao modelo de modificación de Andersson (1990). Considerando o conxunto das intervencións deste par de alumnas durante a fase de predición, semella que estas interpretacións se acollen ao modelo de modificación. Deste xeito, vese como case todos os participantes deste estudo de casos describiron inicialmente a descomposición térmica en termos de modificación da substancia. Soamente unha alumna, Helena (EC3-H), deu unha resposta comparable ao modelo de transmutación ao facer referencia na súa predición ao proceso inverso ao anabolismo celular a través do cal o azucre se transformaría na substancia ou substancias a partir das cales se orixinou.

Ao longo da intervención, a observación, a reflexión e a discusión sobre a posible interpretación do fenómeno permitiu unha progresión dos modelos iniciais dos estudantes cara outros modelos de transformación da materia máis sofisticados (ver Figura 5.24). A confrontación de modelos entre pares e o intento por encaixar as observacións efectuadas nos seus esquemas de razoamento, obrigou aos estudantes a reconstruír os seus modelos iniciais co fin de eliminar contradicións e conseguir un maior poder explicativo. Catro estudantes, entre as que se atopan Graciela (EC3-G), Gisela (EC3-G), Gloria (EC3-G) e Iris (EC3-I), describiron a descomposición térmica como unha combustión, considerando a liberación de vapor de auga e a cor ennegrecida dos produtos resultantes da descomposición térmica como probas a favor de que o azucre se queimara. Estas respostas resultan comparables ás descritas en estudos previos (e. g. Gabel et al., 2001) en onde se expoñen as dificultades dos estudantes para

distinguir adecuadamente entre combustión e descomposición térmica. Estas respostas indican que estas alumnas acabaron activando un modelo macroscópico de reacción química no que se incorpora a idea de que a substancia se transforma noutras substancias diferentes, neste caso o azucre transformárase en dióxido de carbono e vapor de auga.

Outro alumno, Héctor (EC3-H), substituíu o seu modelo inicial de modificación por un modelo de reacción química no que contemplaba unha interacción química entre o azucre e o osíxeno do aire para formar diferentes substancias. A necesidade de introducir outro reactivo alén do azucre pon en evidencia as dificultades dos estudantes para asumir como reaccións químicas aquelas transformacións na materia nas que intervéñen un único reactivo, coincidindo este resultado co de outros traballos como o de Eilks et al. (2007).

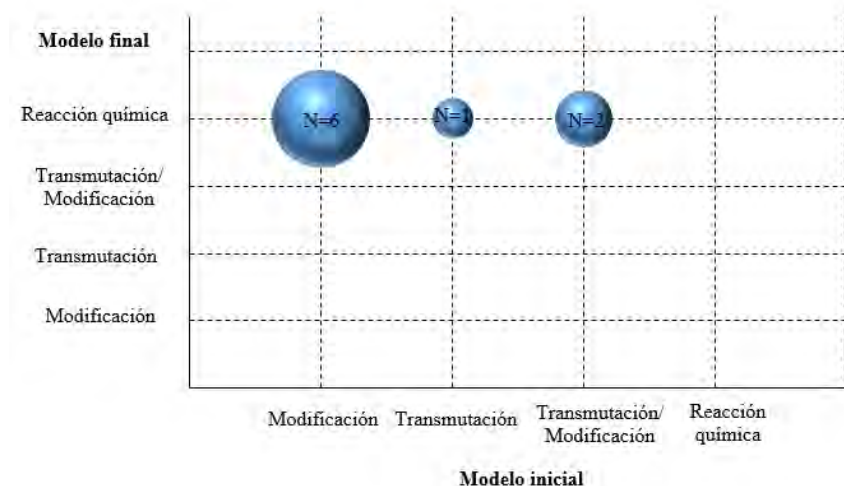


Figura 5.24. Evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) ao interpretar a descomposición térmica do azucre. Cada círculo representa os modelos mentais que activaron os participantes durante a fase de predición (eixe horizontal) e ao final da intervención (eixe vertical). O tamaño dos círculos representa o número de participantes que experimentaron dito cambio

Outros catro estudantes, entre os que se atopan Hugo (EC3-H), Helena (EC3-H), Idaira (EC3-I) e Irene (EC3-I), construíron unha explicación para o fenómeno consistente co modelo da ciencia escolar,

ao sinalar que tivo lugar un cambio químico no azucre que deu lugar á formación de novas substancias, identificando claramente o vapor de auga como un dos produtos da reacción de descomposición térmica. Este resultado é especialmente relevante xa que se afasta da idea que sostiveron outros participantes deste estudo de casos (EC3) en virtude da cal a auga era interpretada como o produto dunha combustión do azucre. Ademais, cómpre mencionar que estes catro estudantes activaron un modelo macroscópico de reacción química que facía referencia a que unha substancia se transforma noutras diferentes, se ben non existe constancia de que empregasen a idea de que nun cambio químico ten lugar unha reorganización da estrutura microscópica.

A modo de resumo, na Figura 5.24 represéntase graficamente a evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) ao enfrontarse ao fenómeno de descomposición térmica.

Tanto na combustión dunha candeia como na descomposición térmica do azucre a discusión estimulada pola investigadora permitiu que a meirande parte dos estudantes, especialmente no segundo fenómeno, fixesen explícito un modelo para o cambio químico próximo ao modelo de reacción química, se ben en xeral, os estudantes recorreron nas súas explicacións a esquemas de interpretación macroscópicos mostrando bastante reticencia a mencionar a existencia de átomos e moléculas, resultados que concordan co de outros traballos (Watson et al., 1997).

5.5 ESTUDO DE CASOS 4 (EC4): ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA EN SUECIA

Neste apartado da tese abórdase o Estudo de Casos 4 (EC4) desenvolto no noveno curso da escolarización obrigatoria en Suecia. En primeiro lugar descríbese o contexto e o perfil dos participantes. En segundo lugar, indícanse as experiencias propostas e especifícase a metodoloxía adoptada para a toma e posterior análise de datos. En último lugar, discútnense os resultados e expóñense as conclusións máis relevantes.

5.5.1 Participantes e contexto

Neste apartado descríbese o perfil dos participantes do Estudo de casos 4 (EC4) desenvolto nun centro educativo situado nunha vila de Escania, a provincia máis meridional de Suecia. O centro educativo, situado nas aforas da vila, acollía a máis de 500 estudantes procedentes da área urbana e das zonas rurais limítrofes.

Neste estudo de casos participaron un total de doce estudantes, sete rapazas e cinco rapaces, que no momento da intervención se atopaban cursando o noveno grao (15-16 anos), que se corresponde co último curso da escolarización obrigatoria en Suecia. A recollida de datos neste grupo de estudantes desenvolveuse ao longo do mes de maio do ano 2017, mentres a investigadora e autora da tese se atopaba realizando unha estadía predoutoral no país sueco.

Asemade, co fin de garantir co cumprimento das consideracións éticas e legais que atinxen á investigación educativa, informouse aos participantes do procedemento da intervención na aula e obtivéronse os permisos correspondentes tanto da directora do centro como dos pais, nais ou titores legais do alumnado. Asemade, os nomes reais dos participantes foron substituídos por pseudónimos nos que unicamente se mantivo o xénero. Os pseudónimos adoptados recóllense na Táboa 5.6 e como se pode observar, cada un deles comeza pola letra dos grupos de traballo nos que foron distribuídos os estudantes para o desenvolvemento das experiencias. A meirande parte dos participantes procedían de diferentes países de América Latina, África, Asia e Europa, por mor dos fluxos migratorios cara o país sueco, se ben no momento da intervención todos eles gozaban xa da nacionalidade

sueca (ver Táboa 5.6). Por outra parte, todos os participantes tiña un bo dominio do inglés tanto na interacción e expresión escrita como na interacción e expresión oral, de aí que se optase por desenvolver a intervención nesta lingua para posibilitar a discusión entre a investigadora e os participantes, e facer posible a análise dos datos sen ter que recorrer a traducións desde o sueco.

Táboa 5.6. Participantes no Estudo de Casos 4 (EC4) desenvolto no noveno curso da escolarización obrigatoria (15 a 16 anos) en Suecia

Grupo L	Grupo M	Grupo N
Leticia: Procedente de Macedonia, vive en Suecia desde o 2011.	Martina: De país etíopes, naceu e criouse en Suecia.	Nuria: De país iraquís, naceu e criouse en Suecia.
Lucas: De país suecos, naceu e criouse en Suecia.	Manuel: De pai chileno, naceu e criouse en Suecia. Viviu en España durante seis meses no ano 2014.	Natalia: De país procedentes de Eritrea, naceu e criouse en Suecia.
Lidia: De país vietnamitas, naceu e criouse en Suecia.	Mario: De país suecos, naceu e criouse en Suecia.	Nerea: Procedente de Paquistán, vive en Suecia desde o 2012.
Laura: De país iraquís, naceu e criouse en Suecia.	Mateo: De país suecos, naceu e criouse en Suecia.	Nicolás: Procedente de Armenia, vive en Suecia desde o 2004.

En canto ao contexto educativo, cómpre mencionar que a escolarización obrigatoria en Suecia ten carácter gratuíto e abrangue dos 7 aos 16 anos. Consta de nove cursos distribuídos en tres ciclos. O primeiro ciclo denominado *lågstadiet* comprende os tres primeiros cursos, o segundo ciclo denominado *mellanstadiet* abrangue do cuarto ao sexto curso, e o terceiro ciclo denominado *högstadiet* comprende do sétimo ao noveno curso (Swedish Institute, 2015). A entrada en vigor dun novo currículo en xullo do 2011 obriga a que no último curso de cada un destes ciclos, os estudantes han de realizar unhas probas nacionais nas que se avalía o seu desempeño nas áreas lingüística, científica e tecnolóxica (Swedish Institute, 2015). No centro educativo onde se levou a cabo a intervención desenvolvíanse as ensinanzas do sexto ao noveno curso.

Por outra banda, en cada un dos cursos da escolarización obrigatoria en Suecia impártense as materias de Bioloxía, Física e

Química, e os contidos clave que se contemplan en cada unha delas van encamiñados a fornecer ao alumnado das ferramentas necesarias para contribuír a un desenvolvemento sostible (Skolverket, 2011). A diferenza do currículo español, no que para cada materia se establecen os contidos a abordar en cada curso, no currículo sueco especifícanse os contidos a abordar ao longo de cada ciclo. Corresponde ao profesorado a decisión de como distribuír os contidos ao longo dos tres cursos que conforman cada un dos ciclos nos que se divide a escolarización obrigatoria en Suecia.

Entre os contidos clave que se contemplan na materia de Química para o primeiro ciclo (*Year 1-3*) atópanse as propiedades do aire, a distinción entre substancias puras e mesturas, e o coñecemento dos tres estados de agregación da auga e das transicións entre cada un destes estados físicos (ver Táboa 5.7).

Táboa 5.7. Contidos clave para a materia de Química durante a escolarización obrigatoria en Suecia (elaboración propia, a partir de, Skolverket, 2011)

Year 1-3 (7 a 10 anos)
<p><i>Materiais e substancias no noso entorno</i> Propiedades dos materiais e como os materiais e obxectos poden clasificarse segundo propiedades como a aparencia, o magnetismo, a condutividade ou se flotan ou afunden na auga. Diferentes materiais empregados para manufacturar obxectos da vida diaria e como se poden reciclar. Diversos estados da auga: sólido, líquido e gas. Transición entre os estados: evaporación, ebulición, condensación, fusión e solidificación. Propiedades básicas do aire e como se poden observar. Mesturas simples e como se poden separar nos seus compoñentes a través de técnicas como a filtración ou a evaporación.</p> <p><i>Métodos e formas de traballo</i> Estudos de campo sinxelos e observacións no medio ambiente local. Estudos científicos sinxelos.</p>
Year 4-6 (10 a 13 anos)
<p><i>Química na natureza</i> Modelo corpuscular sinxelo para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia. Movemento das partículas como explicación das transicións entre sólidos, líquidos e gases. Clasificación das substancias e materiais segundo propiedades como a condutividade, a solubilidade, a combustibilidade e a acidez. Propiedades e circulación da auga. Propiedades e composición do aire. Fotosíntese, combustión e outras reaccións químicas básicas.</p> <p><i>Química, os seus métodos e formas de traballar</i> Estudos sistemáticos sinxelos. Planificación, execución e avaliación.</p>

Algúns métodos para separar os compoñentes de mesturas.
Year 7-9 (13 a 16 anos)
<p>Química na natureza</p> <p>Modelo corpuscular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia. Átomos, electróns e partículas nucleares.</p> <p>Compostos químicos e como os átomos se unen para formar compostos moleculares e iónicos a través de reaccións químicas.</p> <p>Modelo corpuscular para describir e explicar as propiedades das fases, as transicións de fase e os procesos de distribución da materia no aire, na auga e no solo.</p> <p>Algúns procesos químicos no aire, no solo e na auga desde unha perspectiva ambiental e de saúde.</p> <p>Propiedades dos átomos de carbono e a súa función como as unidades estruturantes de todos os organismos vivos. A circulación dos átomos de carbono.</p> <p>A fotosíntese e a combustión, e a conversión de enerxía nestas reaccións.</p> <p>Química, os seus métodos e formas de traballar</p> <p>Estudos sistemáticos. Formulación de preguntas sinxelas, planificación, execución e avaliación.</p> <p>Técnicas de separación e análise como a destilación e a identificación de substancias.</p> <p>A relación entre os experimentos e o desenvolvemento de conceptos, modelos e teorías.</p> <p>Exame crítico da información ou argumentos que o alumnado se atopa en diferentes fontes e debates sociais relacionados coa química.</p>

Os contidos clave para o segundo ciclo (*Year 4-6*) fan referencia a unha aproximación ao modelo corpuscular da materia para describir e explicar a estrutura e a conservación da masa, e ao coñecemento de reaccións químicas fundamentais como a fotosíntese e a combustión. Asemade, inclúese o deseño e o desenvolvemento de investigacións simples (ver Táboa 5.7).

Os contidos para o terceiro e último ciclo da escolarización obrigatoria (*Year 7-9*) fan referencia ao emprego dun modelo corpuscular máis sofisticado para describir e explicar a estrutura e a conservación da materia, as propiedades dos estados de agregación e os cambios de estado. Asemade, faise referencia ao ciclo do carbono, á importancia do átomo de carbono nos organismos vivos, e á unión dos átomos para formar compostos moleculares ou iónicos a través de reaccións químicas. Tamén se contempla a introdución aos procesos químicos básicos nos tres medios (aire, auga e solo) desde unha perspectiva ambiental (Skolverket, 2011). Na Táboa 5.7 descríbense en maior profundidade os contidos do currículo de Química

relacionados coa materia e as súas transformacións, e coa actividade científica.

5.5.2 Descrición das experiencias propostas

Neste estudo de casos (EC4) foron desenvoltas as mesmas experiencias que as descritas no estudo de casos con alumnado de Educación Secundaria Obligatoria en España (EC3). En concreto, as actividades propostas foron a combustión dunha candea no interior dun recipiente invertido e a descomposición térmica do azucre. Mediante ditas actividades outórgase aos participantes a posibilidade de participar en prácticas discursivas a través das cales han de intentar dar sentido a fenómenos da vida diaria. Estas experiencias xa foron amplamente descritas no apartado 4.4.2 do Capítulo 4 desta tese.

5.5.3 Toma de datos

Neste estudo de casos distínguense dúas fontes de datos, as producións escritas dos estudantes e as transcripcións da discusión en grupo. Para a recollida das producións escritas deseñouse como instrumento un cuestionario de preguntas abertas no que se adoptou unha estratexia didáctica desenvolta por White e Gunstone (1992) que se coñece como POE (Predicir-Observar-Explicar). As preguntas foron traducidas do galego ao inglés por parte da autora desta tese, e supervisadas pola titora no centro receptor onde a investigadora desenvolveu a súa estadía predoutoral, co fin de manter o seu significado. Para o fenómeno consistente en tapar unha candea acesa cun recipiente os estudantes debían responder ás cuestións que se amosan no Cadro 5.28. Para a descomposición térmica do azucre os estudantes tiñan que responder a cuestións semellantes (ver Cadro 5.29).

Na última pregunta dos cuestionarios pedíase aos estudantes que imaxinasen o que sucedería se puidesen observar o fenómeno cun microscopio de gran resolución. A finalidade desta pregunta era que os estudantes activasen un esquema de representación microscópico, se ben queda claro que a través dun microscopio ou unha lupa se observa o mundo real, mentres que os átomos e as moléculas pertencen ao ámbito das teorías ou modelos que nos permiten explicar

os fenómenos que suceden no mundo real (Giere, 2001; Redfors, 2003).

Cadro 5.28. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de educación secundaria de Suecia (EC4) durante a combustión dunha candea

<p>Prediction (before doing the activity) What do you think will happen if we light a candle and we cover it with a vessel? Why? (Here you must justify your previous answer).</p> <p>Observation (while performing the activity) Write what you observe when a lit candle is covered.</p> <p>Explanation (after performing the activity) Explain what you have seen. If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.</p>
--

Asemade, efectuáronse gravacións en audio, co gallo de rexistrar as discusións entre os participantes, e en vídeo, utilizado como un apoio para identificar inequivocamente a intervención de cada estudante, así como rexistrar as accións entre os participantes e as interaccións co material de traballo.

Cadro 5.29. Preguntas incluídas no cuestionario tipo POE (White & Gunstone, 1992) empregado co alumnado de educación secundaria de Suecia (EC4) durante a descomposición térmica do azucre.

<p>Prediction (before doing the activity) What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated? Why? (Here you must justify your previous answer).</p> <p>Observation (while performing the activity) Write what you observe when sugar is heated.</p> <p>Explanation (after performing the activity) Explain what you have seen. If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.</p>

En canto ao desenvolvemento da intervención, esta tivo lugar no laboratorio de Ciencias do centro, onde os participantes dispoñían de todo o material necesario para executar cada unha das experiencias. Coa intención de facilitar a recollida de datos, dividiuse ao alumnado

en grupos de catro membros. Para poder identificar inequivocamente a cada grupo de traballo máis aos seus integrantes, cada grupo foi nomeado cunha letra e ao alumnado que o conformaba foille outorgado un pseudónimo que comezaba por esa mesma letra. Ademais, de cara a configuración dos grupos intentouse na medida do posible que estes foses heteroxéneos en canto a motivacións, actitude e rendemento académico, coa intención de que a discusión fose o máis frutífera posible. En total resultaron tres grupos nomeados coas letras L, M e N (ver Táboa 5.6). Asemade, para o desenvolvemento de cada unha das actividades, os participantes dispuxeron de dúas sesións consecutivas de 30 minutos cada unha. Durante a intervención estiveron presentes no laboratorio a investigadora e a profesora de Ciencias do alumnado. O papel de ambas consistiu en estimular a discusión naqueles grupos de traballo nos que fose pouco frutífera, e resolver dúbidas en relación aos aspectos procedimentais das actividades ou solucionar aquelas dificultades que puidesen xurdir en relación ao idioma. Recordemos que se ben os estudantes seleccionados para a intervención tiñan un bo dominio do inglés, a súa lingua materna era o sueco.

O protocolo de actuación descríbese a continuación. En primeiro lugar, indicouse aos participantes que se ía tapar unha candeia acesa cun recipiente de vidro e pediuse que escribisen no cuestionario o que pensaban que ía suceder, dando unha explicación para a súa predición. Informouse aos estudantes que tiñan que cubrir o cuestionario de maneira individual, pero que podían discutir as respostas, tanto durante esta primeira fase como nas posteriores. Unha vez finalizada a fase de predición, o alumnado executou o experimento, e solicitouse que anotasen no segundo apartado do cuestionario todas as observacións. Durante a realización da experiencia facilitouse ao alumnado diverso material. Así, contaron con diferentes candeas e recipientes de múltiples tamaños. Por último, pediuse aos participantes que escribisen no último apartado do cuestionario unha explicación plausible para o acontecido. O protocolo de actuación seguido no caso da descomposición térmica do azucre foi semellante.

5.5.4 Ferramenta de análise de datos

Para coñecer os modelos mentais empregados polos estudantes para interpretar aqueles fenómenos nos que a materia se transforma, e responder así á primeira pregunta de investigación (RQ3) do Obxectivo 2 (O2) desta tese, empregouse a mesma ferramenta de análise que a descrita para o Estudo de Casos 4 (EC4). Os modelos expresados polos estudantes durante o desenvolvemento da tarefa foron clasificados atendendo aos modelos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997) para a interpretación dos cambios químicos en base aos elementos ou ideas clave presentes nas respostas.

Por outra banda, para coñecer en que medida a observación, a reflexión e a discusión sobre os fenómenos nos que a materia se transforma contribúen ao desenvolvemento dos modelos mentais iniciais dos estudantes, e dar así resposta á segunda pregunta de investigación (RQ4) do Obxectivo 2 (O2) desta tese, estableceuse unha relación entre os modelos empregados para a interpretación dos cambios químicos (Andersson, 1990; Watson et al., 1997) e os niveis propostos no traballo de Hadenfeldt et al. (2014) que constitúen unha xerarquía ou progresión de aprendizaxe acerca da comprensión das propiedades químicas das substancias e os cambios químicos na materia. Asemade, o contraste destes niveis de progresión permitirá establecer comparacións entre o desempeño do alumnado de secundaria de España e Suecia no Capítulo 6 desta tese.

5.5.5 Resultados e discusión

Neste apartado preséntase a análise do discurso para cada un dos grupos, a través da cal se avalía o contido das explicacións en relación aos conceptos científicos, é dicir, en que medida, a partir do discurso entre pares, os participantes se aproximan aos significados aceptados actualmente pola comunidade científica. De maneira similar a outros traballos (Costa, 2015), as interaccións preséntanse en cadros con tres columnas, nas que se inclúen as quendas de fala, o diálogo transcrito e a análise das intervencións co fin de describir a intencionalidade ou o significado de cada intervención.

5.5.5.1 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo L (EC4)

En virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos, a análise deste evento estrutúrase en tres fases. Durante a primeira fase da intervención os estudantes tiñan que emitir predicións acerca da combustión dunha candea que é cuberta cun recipiente. Ao non establecerse ningún tipo de discusión entre os participantes durante esta primeira fase da intervención, a análise de datos baséase exclusivamente nas producións escritas dos participantes. Nas seguintes fases da intervención, a discusión foi máis produtiva, de aí que se conxugue a análise do discurso transcrito cos datos procedentes dos cuestionarios.

Debido á ausencia de intervencións durante a fase de predición, na análise do discurso unicamente se contemplan dous episodios (observación e explicación). O primeiro episodio, integrado por aquelas intervencións nas que o alumnado executa e observa o fenómeno, comprende as quendas de fala 1 a 49. O segundo episodio deste evento, integrado polas intervencións nas que os estudantes constrúen unha explicación para o observado intentando conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición inicial, abrangue da quenda de fala 50 a 84.

Predición

Na primeira pregunta do cuestionario pedíase aos estudantes que apuntasen o que pensaban que sucedería ao cubrir unha candea acesa cun recipiente. Un alumno, Lucas, escribiu que a candea se ía acender máis rápido, mentres que as demais integrantes deste grupo escribiron que a candea se ía apagar. Descoñecemos se a predición de Lucas, inconsistente coa interpretación científica do fenómeno, foi froito dunha inadecuada comprensión da tarefa desenvolta nunha lingua da que se presupoñía que tiñan un certo dominio pero que dista da súa lingua habitual, ou ben se corresponde co que verdadeiramente o alumno quería expresar, o que revelaría importantes concepcións alternativas arredor do fenómeno de combustión.

Na segunda pregunta do cuestionario pedíase aos estudantes que xustificasen a súa predición. As alumnas que prognosticaran que a

candea se ía apagar deron respostas que podemos considerar indicadores de que estaban a activar un modelo de transmutación. A idea que mencionaron con máis frecuencia foi a do osíxeno como aquela substancia necesaria para manter viva a chama (T2). A modo de exemplo, reproducéase a resposta escrita de Lidia (ver Figura 5.25). En canto á xustificación de Lucas, os datos que aporta a súa resposta escrita non permiten inferir o modelo que activou o alumno para interpretar o que pensaba que ía suceder durante a combustión dunha candea que ten limitada a entrada de osíxeno.

What do you think will happen if we light a candle and we cover it with a vessel?
 I think the candle is going to blow out and by that I mean there isn't going to be any fire in the candle.

Why? (Here you must justify your previous answer).
 Because when you cover a candle with a vessel there isn't going to be any oxygen in there and a fire needs oxygen to "survive".

Figura 5.25. Resposta escrita de Lidia durante a fase de predición

Observación

O primeiro episodio deste evento, no que os participantes desenvolven o experimento e observan o que sucede durante o transcurso do fenómeno, abrangue da quenda de fala 1 a 49 (Cadro 5.30). Durante estas intervencións vese como os estudantes toman a iniciativa de tapar a candea con recipientes de distinto tamaño para coñecer o efecto deste factor sobre o resultado do fenómeno. Nas quendas de fala 3 a 10 os participantes tapan a candea co recipiente de menor tamaño. Na quenda de fala 10 intervéñ Leticia para dar conta das observacións efectuadas. Esta alumna sinala que a candea se apagou axiña e que se formaron gotas de auga sobre as paredes do recipiente de vidro. A continuación, os estudantes deciden cubrir a candea co recipiente de tamaño medio. Na quenda de fala 23 prodúcese outra vez a intervención de Leticia, quen fai referencia novamente ás gotas de auga e engade que se está a crear vapor. Esta afirmación parece suxerir que esta alumna concibe o vapor de auga como o produto que resulta ao arder a cera da candea. Na quenda de fala 36 obsérvase como esta mesma alumna menciona que a única

diferencia que existe ao tapar unha candea cun recipiente de maior tamaño consiste en que a chama tarda máis tempo en extinguirse.

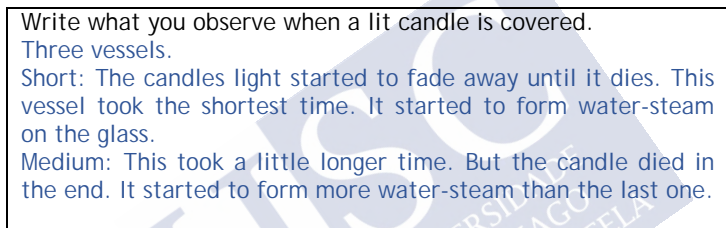
Cadro 5.30. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
3	[Leticia]: <i>It extinguished.</i>	Realiza unha observación.
4	[Lidia]: <i>As we thought.</i>	Concorda a predición coa observación.
5	[Leticia]: <i>Should we explain what we do and what it happens?</i>	Solicita esclarecemento acerca do desenvolvemento da actividade.
6	[Teacher]: <i>Yes, you can say so she might listen to it on the record later.</i>	Esclarece a actividade.
10	[Leticia]: <i>We put the small round vessel over the candle which was lit. The candle soon extinguished and formed water droplets all over the glass. Let's try with a:</i>	Describe o tipo de recipiente empregado para tapar a candea e fai explícitas as observacións efectuadas.
11	[Laura]: <i>A longer::</i>	Suxire tapar a candea cun recipiente máis grande.
23	[Leticia]: <i>Let me see the formed droplets. Yeah! Steam! It creates steam! The sides are steamy.</i>	Realiza observacións.
24	[Laura]: <i>Wow! Steam!</i>	Realiza observacións.
36	[Leticia]: <i>So, when we used the tall one, the same thing happened, but the candle lasted longer. Just the same process, but the candlelight lasted longer. So, the last thing is the big one, the width round vessel. What happened? Please, someone.</i>	Describe o tipo de recipiente empregado para tapar a candea e fai explícitas as observacións efectuadas.
37	[Lidia]: <i>The exact thing happened.</i>	Manifesta que a candea se apaga independentemente do recipiente utilizado.
38	[Laura]: <i>But it's too long.</i>	Apunta que co recipiente de maior tamaño a candea tarda máis en apagarse.
39	[Leticia]: <i>Yes, let's write this thing. Width round vessel:: ((falando baixo mentres escribe)).</i>	Pide ao grupo que rexistre no cuestionario as observacións.
40	[Laura]: <i>The flame lasted the longest (...).</i>	Vai dicindo en voz alta o que escribe.

Por último, os estudantes tapan a candea co recipiente de maior tamaño observando que a candea tarda máis en apagarse en comparación cos casos anteriores, e así o manifestan nas quendas de

fala 37 a 38. Durante este episodio, Lucas non se implicou nunha discusión activa sobre o fenómeno observado, de aí que non se rexistrase ningunha intervención deste alumno durante todo este episodio.

En relación aos datos procedentes do cuestionario durante esta fase da intervención, todos os estudantes rexistraron por escrito que a candea se apagaba e que se depositaba auga sobre as paredes do recipiente empregado para tapar a candea. Asemade, sinalaron que canto maior era o tamaño do recipiente, tanto maior era o tempo que transcorría ata que a chama se extinguía. A modo de exemplo, reproducéase a resposta escrita de Lucas durante a fase de observación (ver Figura 5.26).



Write what you observe when a lit candle is covered.
Three vessels.
Short: The candles light started to fade away until it dies. This vessel took the shortest time. It started to form water-steam on the glass.
Medium: This took a little longer time. But the candle died in the end. It started to form more water-steam than the last one.

Figura 5.26. Resposta escrita de Lucas durante a fase de observación

Explicación

O terceiro episodio deste evento, no que os participantes han de construír unha explicación para o observado durante o fenómeno, esténdese desde a quenda de fala 50 a 84 (ver Cadro 5.31). Nas quendas de fala 56 a 68 obsérvase como os estudantes intentan dar reposta á derradeira pregunta do cuestionario, na que se pedía que interpretasen o fenómeno supoñendo que puidesen observar o que acontece cunhas lentes máxicas ou cun microscopio de gran resolución. A través desta pregunta pretendíase que os estudantes chegasen a activar un esquema de interpretación microscópico.

Ante esta cuestión, na quenda de fala 59 obsérvase como Leticia comeza a pensar sobre o proceso en termos de partículas, ao mencionar que cun microscopio chegarían a observar as “células” do

aire². Na quenda de fala 61 obsérvase como esta mesma alumna substitúe o termo de “células” por “moléculas” ao tempo que sinala que cun microscopio poderían observar elementos como o osíxeno ou o carbono.

Cadro 5.31. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
56	<i>[Leticia]: Ok, what do you guys think would happen? What can we distinguish with the microscope?</i>	Solicita explicacións para a pregunta de que observarían se puidesen ver o fenómeno cun microscopio de alta resolución.
57	<i>[Lidia]: The exact things, a little bit closer.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.
58	<i>[Laura]: Much closer.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.
59	<i>[Leticia]: No, no, with a microscope! Not a:: so you can see the cells of the air.</i>	Dá unha resposta na que se intúe o uso dun incipiente modelo microscópico.
60	<i>[Laura]: You would see the water droplets on the bottle with this. I don't know.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.
61	<i>[Leticia]: I think that we'd see the candlelight that would be extinguished. You have:: this is the candle ((facendo un debuxo)) and this is the candlelight. In a microscope, these would be zoom down. Seeing closely, you can see all the cells. All the:: molecules that are around the air. So, you can see the oxygen, the carbon and everything. What do you think what happen when we lit it and then observe it?</i>	Dá unha resposta na que se intúe o uso dun incipiente modelo microscópico.
62	<i>[Laura]: All the cells die?</i>	Solicita esclarecemento.

² Desde o punto de vista científico, os termos “célula” e “átomo” ou “molécula” non gardan o mesmo significado. As células son as unidades básicas dos organismos vivos capaces de realizar por si mesmas as tres funcións vitais de nutrición, relación e reprodución, mentres que os átomos son as unidades máis pequenas nas que se pode dividir a materia sen perder as súas propiedades químicas.

63	<i>[Leticia]: No, it's a molecule. What happens with it? This is oxygen, the oxygen molecule.</i>	Substitúe o termo de célula que utilizara inicialmente por molécula.
64	<i>[Lidia]: It will be exchanged:: eh::</i>	Intenta explicar o fenómeno.
65	<i>[Leticia]: Exchanged with what?</i>	Solicita esclarecemento.
66	<i>[Lidia]: On the vessel bottom ((risas)).</i>	Dá unha resposta arbitraria.
68	<i>[Leticia]: No! Ok, these molecules:: If the fire is revived by oxygen, where will these oxygen molecules go? They go inside of the flame, which then convert into steam. That's why the rings form around. All these oxygen molecule turn into water. If you draw it, how would you do it?</i>	Dá unha explicación acerca do fenómeno na que conflúen ideas comparables ao modelo de reacción química (e.g. molécula) e ao modelo de transmutación.

Malia que estas respostas nas que integra o termo de “molécula” parecen evidenciar que a alumna está comezando a activar un modelo de reacción química no que se interpreta o fenómeno de combustión como unha reorganización de átomos, na quenda de fala 68 obsérvase que esta alumna volve activar o modelo de transmutación para dar conta da formación de gotas de auga sobre o recipiente de vidro. Esta alumna, Leticia, incorpora unha nova idea no modelo de transmutación ao facer referencia a que unha substancia se transforma noutra distinta, neste caso o osíxeno transmutaríase en auga (T5). Ao mesmo tempo dá a entender unha interacción entre o osíxeno e a chama, dando unha resposta comparable ás que Watson et al. (1997) adscribiron nun modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química.

Neste episodio a discusión estivo dominada por Leticia quen construíu enteiramente unha explicación para o sucedido en virtude do demandado na derradeira pregunta do cuestionario. As aportacións tanto de Lidia como de Laura foron poucos substanciais durante este episodio e, ao igual que acontecera no episodio anterior, Lucas non chegou a intervir durante a interacción en grupo. O nivel de implicación deste alumno na tarefa foi tan baixo que unicamente se limitou a responder por escrito ao cuestionario.

En relación aos datos procedentes da fonte escrita, todos os alumnos reproduciron a resposta de Leticia (ver Figura 5.27).

Podemos considerar que a resposta desta alumna se sitúa nun modelo de transición ao introducir no modelo inicial de transmutación unha idea incipiente de interacción característica do modelo de reacción química. Esta alumna fai referencia a unha interacción entre o osíxeno e a chama, ao sinalar que este gas é absorbido polo fogo, dando unha resposta semellante a aquelas que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química. Asemade, nesta resposta desaparece a idea de que o osíxeno se transmuta en auga, facendo referencia a que as moléculas de osíxeno se combinan coas moléculas de hidróxeno para formar auga (H_2O). En virtude desta resposta, obsérvase que esta alumna comeza a interpretar o proceso en termos de reorganización de partículas, se ben non aclara de onde procede o hidróxeno que participa no proceso.

Por outra banda, cómpre sinalar que na pregunta na que se pedía aos estudantes que explicasen o que observaron, todos asumiron que unicamente tiñan que describir o observado.

Explain what you have seen.
The candle light starts to weaken and the sides of the vessel start to become blurred with steam soon after the candle is extinguished.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.
The oxygen gets absorbed by the flame which that gases with the hydrogen molecules in the fire to form water - H_2O

Figura 5.27. Resposta escrita de Leticia durante a fase de explicación

5.5.5.2 Combustión dunha candeia: Análise do discurso do grupo M (EC4)

A análise do discurso deste primeiro evento divídese en tres episodios segundo a estratexia POE (White & Gunstone, 1992) empregada para a recollida de datos. A duración deste evento comprende 53 quendas de fala. O primeiro episodio, no que se pide aos estudantes que emitan unha predición acerca do que lle sucede a unha candeia acesa ao tapala cun recipiente, comprende as quendas de

fala 1 a 7. O segundo episodio deste evento, no que os participantes desenvolven o experimento e observan o fenómeno, comprende as quendas de fala 8 a 25. O terceiro e último episodio, durante o cal os estudantes han de construír unha explicación do fenómeno, tratando de conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición, abrangue da quenda de fala 26 a 53.

Predición

Nas quendas de fala 4 a 7 obsérvase a construción de predicións por parte de dous estudantes mediante un proceso colaborativo (ver Cadro 5.32). Na quenda de fala 5 obsérvase como Manuel se pon na situación do que sucedería de cubrir a candea cun recipiente de pequeno tamaño. Na quenda de fala 6 intervén Mario para predicir que a candea se apagará tanto máis rápido canto menor sexa o tamaño do recipiente co que se tapa. Na quenda de fala 7 obsérvase como Manuel xustifica a predición anterior atendendo a que o recipiente alberga menos cantidade de osíxeno. A partir dos datos procedentes da interacción oral non é posible inferir o modelo mental que están a activar os estudantes para predicir o que sucede durante a combustión dunha candea.

Cadro 5.32. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo M

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
4	<i>[Mario]: All right. Let's start.</i>	Dirixe a actividade.
5	<i>[Manuel]: Ok, the smaller the cap/</i>	Intenta emitir unha predición.
6	<i>[Mario]: The faster it will go out.</i>	Interrompe a intervención do compañeiro para colaborar na construción da predición.
7	<i>[Manuel]: Because it hasn't much more oxygen. Let's try. Start with the small one.</i>	Dá unha explicación para a predición baseada na dispoñibilidade de osíxeno.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, ante a pregunta na que se solicitaba aos participantes que apuntasen aquilo que pensaban que ía suceder ao tapar a candea acendida cun recipiente, todos escribiron que a candea se ía apagar. Na seguinte cuestión, coa que se pretendía que os estudantes xustificasen a predición anterior, tres participantes (Martina, Mateo e Manuel) dan respostas que se

poden consideran indicadoras de que están a aplicar un modelo de transmutación, o que os sitúa no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014). A idea que mencionaron con máis frecuencia foi a do osíxeno como alimento ou recurso necesario para manter viva a chama, dando respostas semellantes ás que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transmutación. A modo de exemplo, inclúese a reposta escrita de Martina (ver Figura 5.28):

What do you think will happen if we light a candle and we cover it with a vessel?
The light will go out.

Why? (Here you must justify your previous answer).
This happens because the oxygen in the vessel will be used up by the light because the light needs oxygen to burn.

Figura 5.28. Resposta escrita de Martina durante a fase de predición

Sen embargo, outro alumno, Mario, proporciona unha resposta na que se intúe unha idea de interacción entre o combustible da candeia e o osíxeno do aire (RQ1), ao facer referencia aos tres elementos que en virtude do triángulo do lume son necesarios para que se poida desencadear unha reacción de combustión. Esta resposta parece indicar que este alumno está a activar un modelo incipiente de reacción química, o que o sitúa no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014). A modo de exemplo, inclúese a reposta escrita de Mario (ver Figura 5.29):

What do you think will happen if we light a candle and we cover it with a vessel?
I think that the flame will go out.

Why? (Here you must justify your previous answer).
Because of oxygen starvation. For a fire to sustain itself, you need fuel, heat and oxygen. In this experiment, we're removing the oxygen.

Figura 5.29. Resposta escrita de Mario durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento, no que os estudantes desenvolven a experiencia e observan o que acontece ao tapar unha candea acesa cun recipiente, comprende as quendas de fala 8 a 25 (ver Cadro 5.33). Durante este episodio vese como os participantes toman a iniciativa de realizar diferentes ensaios coa intención de avaliar se as súas predicións relativas ao tamaño do recipiente empregado para cubrir a candea concordan co observado.

Cadro 5.33. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo M

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
9	[Mario]: <i>It doesn't disappear immediately ((referíndose a que a candea non se apaga inmediatamente ao cubrila co recipiente máis pequeno)).</i>	Realiza unha observación.
10	[Mateo]: <i>Yeah, 4-5 seconds.</i>	Conta o tempo que tarda a candea en apagarse co recipiente de menor tamaño.
11	[Manuel]: <i>Very fast.</i>	Fai unha apreciación do tempo que a candea tarda en apagarse.
18	[Mario]: <i>The medium one. Good job ((cando o compañeiro acende a candea)). Yeah, we go.</i>	Suxire probar a tapar a candea co recipiente mediano.
19	[Manuel]: <i>Ok, so:: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11.</i>	Conta o tempo que tarda a candea en apagarse co recipiente mediano.
23	[Mario]: <i>The wide bottle.</i>	Suxire probar a tapar a candea co recipiente de maior tamaño.
24	[Manuel]: <i>Shit! ((risas))</i>	Pide silencio.
25	[Mario]: <i>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17. Seventeen, yeah?</i>	Conta o tempo que tarda a candea en apagarse co recipiente de maior tamaño.

En primeiro lugar, proban a tapar a candea co menor dos recipientes. Na quenda de fala 10 obsérvase como Mateo dá conta do tempo que a candea tardou en apagarse, que foi de catro a cinco segundos. Posteriormente, deciden cubrir a candea co recipiente de capacidade intermedia. Na quenda de fala 19 obsérvase como Manuel vai contando os segundos que transcorren desde que cubriron a candea ata que se extingue a chama, acadándose un total de once segundos.

Por último, tapan a candea co recipiente de maior tamaño. Na quenda de fala 25 obsérvase como Mario sitúa en 17 segundos o tempo que a candea tarda en apagarse. Ningún dos participantes fai explícita a observación relativa á formación de bafo nas paredes do recipiente.

En relación aos datos procedentes dos cuestionarios, todos os participantes rexistraron por escrito os resultados obtidos nos diferentes ensaios. A modo de exemplo, recóllese a resposta escrita de Mateo (ver Figura 5.30):

Write what you observe when a lit candle is covered.
 Small vessel: 3-4 seconds then the fire went out.
 Middle vessel: 11 seconds then the fire went out.
 Big vessel: 17 seconds then the fire went out.

Figura 5.30. Resposta escrita de Mateo durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento, no que os participantes han de construír unha explicación acerca do fenómeno, abrangue da quenda de fala 26 a 53 (Cadro 5.34). Nas quendas de fala 43 a 49 ten lugar a posta en común das explicacións que os estudantes construíron para dar conta do fenómeno observado. Na quenda de fala 43 intervéñ Mario para facer referencia a que a reacción de combustión entre o osíxeno e a cera da candea cesa debido á non dispoñibilidade de osíxeno. Podemos situar esta resposta no modelo de reacción química, correspondente ao terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014), xa que este alumno incorpora a idea de interacción química entre a cera da candea e o osíxeno do aire (RQ1). Trátase dunha interpretación macroscópica do fenómeno de combustión, na que non existen evidencias de que o estudante entenda o proceso como unha reorganización de átomos. Asemade, cómpre mencionar que, a diferenza doutros estudos nos que se poñen en evidencia as dificultades dos estudantes para identificar o material combustible nunha candea (BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997), este alumno entende que o que arde é a cera.

Cadro 5.34. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo M

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
43	<i>[Mario]: Me? All right ((risas)). I imagine I would see the candle wax as it would cease reacting with the oxygen because of oxygen deprivation. The flame would go out, because candle wax and oxygen form the combustion.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de reacción química.
44	<i>[Manuel]: I drew this very beautiful painting showing that the wax need oxygen and the oxygen is in the air of the vessel that turns into carbon dioxide, and it can breathe.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables aos modelos de transmutación e reacción química.
45	<i>[Mario]: Breath?</i>	Solicita esclarecemento.
46	<i>[Manuel]: Yeah.</i>	Mantén a súa explicación.
47	<i>[Mateo]: Well, I did the same painting as Mario. A nice picture here without the vessel because the oxygen reacts all the time. So, when the smaller it is, the oxygen is getting used up and there isn't the right amount of oxygen that it's needed. The bigger the vessel, the large amount of oxygen access. So that's why in the small vessel, the fire goes out faster than the biggest. The fire needs oxygen to keep alive.</i>	Describe o observado e dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de transmutación.
48	<i>[Mario]: To keep the flame sustained.</i>	Identifica o osíxeno como "alimento" para chama.
49	<i>[Martina]: Yeah, I wrote I would be able to see the oxygen molecules starting to disappear because the flame uses it up. The larger the vessel the more oxygen is available, so that's why it lasts longer because:: yeah.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de transmutación.

Na quenda de fala 44 obsérvase como outro alumno, Manuel, constrúe unha explicación que parece indicar que está activar un modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química. A resposta deste alumno sitúase no modelo de transmutación ao incorporar a idea de que unha substancia se transforma noutra substancia diferente (T5), neste caso o osíxeno transformárase en dióxido de carbono. Ao mesmo tempo, na resposta deste alumno obsérvase que está a introducir a idea de interacción

entre a cera da candeia e o osíxeno do aire (RQ1), característica do modelo de reacción química.

Pola súa banda, na quenda de fala 47 obsérvase como outro alumno, Mateo, segue a situarse nun modelo de transmutación para interpretar o que sucede durante a combustión dunha candeia que ten impedida a entrada de osíxeno. Este alumno continúa a interpretar o osíxeno como necesario para manter viva a chama, dando unha resposta semellante a aquelas que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transmutación.

Na quenda de fala 49 obsérvase como Martina tamén segue a situarse no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014), ao continuar activando un modelo de transmutación no que concibe o osíxeno como “alimento” para a chama.

Asemade, a través da última pregunta da tarefa na que se pedía aos estudantes que pensasen no que sucedería se puidesen observar o fenómeno cunhas lentes máxicas ou un microscopio de alta resolución, observouse como esta alumna, Martina, conseguiu activar unha visión corpuscular da materia. Non obstante, se ben esta alumna incorporou na súa resposta o termo de “molécula”, correspondente a un esquema de representación microscópico, non existen evidencias de que interprete o proceso en termos de reorganización de partículas. Como se observa na quenda de fala 47, esta alumna refírese a que as moléculas de osíxeno son empregadas pola chama para manterse acesa.

En relación aos datos recollidos a través dos cuestionarios, estes concordan coas explicacións que os estudantes fixeron explícitas durante a interacción en grupo. A modo de exemplo reproducése a resposta escrita de Mario (ver Figura 5.31) comparable ao modelo de reacción química.

Explain what you have seen.

In all of the cases mentioned above, the flame went out.
According to what I know and think, the time the flame can sustain itself has to do with the level of oxygen in the vessel.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.

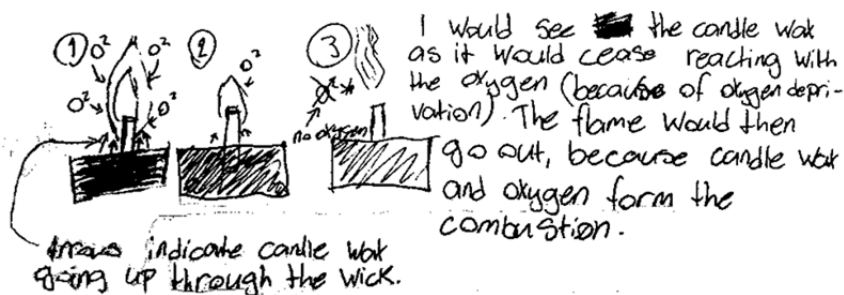


Figura 5.31. Resposta escrita de Mario durante a fase de explicación

A resposta escrita de Manuel á última pregunta do cuestionario tamén suxire a idea de transmutación de osíxeno en dióxido de carbono que puxera de manifesto durante a interacción oral (ver Figura 5.32).

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.

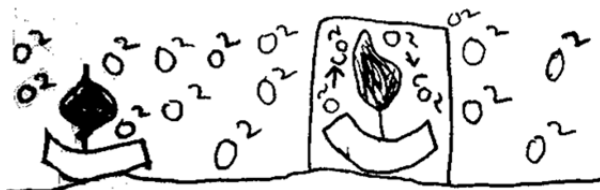


Figura 5.32. Resposta escrita de Manuel durante a fase de explicación

5.5.5.3 Combustión dunha candea: Análise do discurso do grupo N (EC4)

A análise do discurso deste primeiro evento estrutúrase en tres episodios de acordo coa estratexia tipo POE (White & Gunstone, 1992) utilizada para a toma de datos. Este evento consta dun total de 53 quendas de fala. O primeiro episodio, no que se pide aos estudantes que pensen no que sucede ao tapar unha candea acendida cun recipiente, comprende as quendas de fala 1 a 27. O segundo episodio deste evento, durante o que os estudantes desenvolven a experiencia e observan o que sucede, comprende as quendas de fala 28 a 41. O terceiro e último episodio deste evento, no que se pide aos estudantes que constrúan unha explicación para o observado, tratando de conciliar calquera discrepancia existente entre as observacións e a predición, comprende as quendas de fala 42 a 53.

Predición

Nas quendas de fala 12 a 22 obsérvase como os estudantes poñen en común as predicións acerca da combustión dunha candea no interior dun recipiente de vidro. Durante este episodio os participantes unicamente reproducen as respostas que cada un deles anotou individualmente no cuestionario. Ao non existir discrepancia entre as predicións, os estudantes non se implicaron nunha discusión activa durante este primeiro episodio.

Ante a primeira pregunta da actividade, na que se pedía aos estudantes que pensasen no que sucedería ao tapar unha candea cun recipiente, nas quendas de fala 12 a 22 obsérvase como todos os participantes sinalan que a candea se vai apagar (ver Cadro 5.35). Na quenda de fala 18 unha alumna, Nuria, xustifica esta predición facendo referencia á falta de osíxeno.

A partir desta intervención resulta complexo inferir o modelo que activou a alumna para predicir que a candea se apaga. Sen embargo, conxugando esta resposta coa xustificación que a alumna escribe no cuestionario (ver Figura 5.33), podemos dicir que esta alumna está a activar un modelo de transmutación (Watson et al., 1997) ao mencionar na súa resposta escrita a idea do osíxeno como “alimento” para a chama (T2).

What do you think will happen if we light a candle and we cover it with a vessel?
 I think that the light will turn off because that happens when you cut off the air.

Why? (Here you must justify your previous answer)
 A fire needs oxygen to be able to burn so when you cut off the air the fire turns off.

Figura 5.33. Resposta escrita de Nuria durante a fase de predición

Na quenda de fala 20 obsérvase como outra alumna, Natalia, tamén considera a presenza de osíxeno como necesaria para que a candea arda, pero na súa resposta non se intúe a idea de interacción entre o combustible da candea e o osíxeno do aire. Na quenda de fala 21 obsérvase como unha alumna, Nerea, recorre ao triángulo do fogo³ para xustificar a predición de que a candea se apague. Na quenda de fala 21 esta alumna sinala que na ausencia dun destes factores, neste caso en ausencia de osíxeno, a candea deixaría de arder. Esta resposta pódese considerar indicadora de que esta alumna está a activar un modelo macroscópico de reacción química, xa que nesta reposta se intúe a idea de interacción química entre o comburente e o combustible (RQ1), situándose así no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014).

Na quenda de fala 22 obsérvase como outro alumno, Nicolás, xustifica a predición de que a candea se apaga en base á idea do osíxeno como “alimento” para a chama (T2). Ao igual que Nuria, este alumno interpreta a presenza de osíxeno como necesaria para producir a combustión, pero non fai referencia a unha interacción química entre o combustible e o osíxeno do aire. A resposta deste alumno axústase ao modelo de transmutación, correspondente ao segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014).

³ O triángulo do fogo establece que se necesita a existencia simultánea de tres factores para que teña lugar unha reacción de combustión. Estes factores son o comburente, o combustible e a enerxía de activación (calor).

Cadro 5.35. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
12	<i>[Nerea]: Ok. Well, what I thought was that the candle will blow. What do you think?</i>	Emite unha predición e solicita predicións.
13	<i>[Natalia]: I thought the light will stop burning because I think::</i>	Emite unha predición.
14	<i>[Nerea]: We can just say what we thought and then you can justify your answer.</i>	Dá indicacións para o desenvolvemento da tarefa.
15	<i>[Natalia]: Ok.</i>	Acepta a suxestión da compañeira.
16	<i>[Nerea]: What do you think what happen?</i>	Solicita predicións.
17	<i>[Nicolás]: I think that if we put this one the flame will get smaller and at the end the flame won't be anymore.</i>	Emite unha predición.
18	<i>[Nuria]: I think so too because of the lack of oxygen can't be burned anymore.</i>	Concorda coa predición do compañeiro e dá unha explicación para a predición.
19	<i>[Nerea]: Yes, I thought so too. How do you justify your answer?</i>	Concorda coas predicións do grupo e solicita explicacións das predicións.
20	<i>[Natalia]: Ok. I thought so because the candle won't have enough oxygen when the vessel is covering it since it doesn't have enough air.</i>	Dá unha explicación para a predición.
21	<i>[Nerea]: Yes, exactly, I have said the same thing. Because a fire needs three important factors to burn. One is oxygen, the second is the material to be burnt and third is something to lit a fire. If one of those important factors are taken away, I mean, if oxygen is taken away, then the candle wouldn't go on lighting.</i>	Dá unha explicación para a predición baseada no triángulo do lume.
22	<i>[Nicolás]: I wrote because the flame won't get any air which it needs to keep on.</i>	Dá unha explicación para predición baseada na transmutación.

Observación

O segundo episodio deste evento, durante o que os participantes desenvolven a experiencia e observan o que sucede, comprende da quenda de fala 28 a 41 (ver Cadro 5.36). A primeira en intervir é

Nerea, quen na quenda de fala 29 sinala que a chama da candea se foi facendo cada vez máis pequena ata chegar a extinguirse.

Cadro 5.36. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
28	<i>[Researcher]: What are your observations?</i>	Solicita observacións.
29	<i>[Nerea]: Observations? Well, the candle starts getting smaller and smaller and then turns off. That's what I saw.</i>	Describe as observacións realizadas.
30	<i>[Researcher]: And something more?</i>	Solicita máis observacións.
31	<i>[Nerea]: Um:: yes! The steam started:: you know:: getting the bottle's top.</i>	Describe observacións adicionais.
32	<i>[Researcher]: Remember you have to explain all your observations.</i>	Dá instrucións acerca do desenvolvemento da actividade.
33	<i>[Nerea]: We are going to see it again.</i>	Suxire repetir a experiencia.
37	<i>[Nuria]: There is smoke and also steam.</i>	Realiza observacións.
38	<i>[Nerea]: Ok. What I observed was a lit candle when is covered the flame starts get smaller and at last it blows, and I also saw steam at the top of the vessel, and I also saw smoke rising high and then disappearing.</i>	Describe as observacións realizadas.
39	<i>[Nicolás]: The candle's light becomes smaller for every second and at the end it stops.</i>	Describe as observacións realizadas.
40	<i>[Natalia]: I saw that the candle slowly stopped burning.</i>	Describe as observacións realizadas.
41	<i>[Nuria]: I saw that the flame starts to stop burning, and the smoke or the steam gets up to the surface when the flame turns off.</i>	Describe as observacións realizadas.

Cando a investigadora pide aos participantes que indiquen máis observacións alén de que a candea se apaga, na quenda de fala 31 obsérvase como Nerea fai referencia a unha condensación de vapor de auga na parte superior do recipiente. Esta observación é compartida por Nuria, quen na quenda de fala 37 manifesta haber visto vapor de auga e fume. En cambio, nas quendas de fala 39 e 40 nas que se producen as intervencións de Natalia e Nicolás, vese como estes dous participantes unicamente fan referencia a que a candea se apaga. O

feito de que estes participantes non mencionen a condensación de vapor de auga que se produce sobre o recipiente co que se tapa a candeia pode deberse a que os estudantes tenden a fixarse naqueles aspectos que esperan que sucedan, pasando desapercibidos ou deixando nun segundo plano aqueles aspectos que escapan ás súas expectativas e para os cales non teñen unha explicación.

Por outra banda, en relación aos cuestionarios, todos os participantes rexistran por escrito a observación de que a candeia se apaga. Asemade, dúas participantes (Nerea e Nuria) reflicten nos cuestionarios a aparición de vapor de auga e/ou fume. A modo de exemplo, reproducéase a resposta escrita de Nuria (ver Figura 5.34).

Write what you observe when a lit candle is covered.
The flame slowly starts to stop burning. A bit of smoke/steam covers the inside of the vessel.

Figura 5.34. Resposta escrita de Nuria durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento abrangue das quendas de fala 42 a 53 (ver Cadro 5.37). Durante dito episodio os estudantes han de construír unha explicación para o fenómeno, tratando de conciliar as discrepancias existentes entre a observación e a predición. Durante as quendas de fala 42 a 44 obsérvase como os participantes seguen a activar o modelo de transmutación (Watson et al., 1997) para interpretar o que sucede durante a combustión dunha candeia. Os estudantes describen a presenza de osíxeno como necesaria para que a chama non se extinga, pero non fan referencia a unha interacción química entre a cera da candeia e o osíxeno do aire para dar lugar á formación de novos produtos. Asemade, na quenda de fala 43 obsérvase como unha alumna, Natalia, constrúe unha explicación animista para interpretar o que sucede ao establecer unha correspondencia entre a combustión da candeia e o proceso de respiración nos seres vivos. Esta alumna menciona que a candeia ou a chama intenta respirar, pero finalmente morre ao non haber aire suficiente no interior do recipiente. Por outra banda, ningún dos participantes proporciona durante a interacción oral unha explicación para a condensación que se produce sobre as paredes do recipiente.

Queda claro que os modelos dos estudantes poden guiar pero tamén condicionar o modo en que se interpretan os fenómenos, chegando a obviar aqueles datos que non son quen de encaixar nos seus modelos mentais (Vosniadou, 2002).

Cadro 5.37. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
42	<i>[Nicolás]: When we covered a candle, we took something away from it which it needs in order to keep on burning. We took the oxygen away and it had a small amount of it to use.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de transmutación.
43	<i>[Natalia]: Yes. I think that the candle will stop burning because it doesn't have enough air, so it tries to breath but at final it dies.</i>	Establece unha analogía entre a respiración dos seres vivos e a combustión.
44	<i>[Nuria]: I also think that because of the oxygen. The fire can't burn anymore because oxygen is one of the factors that are needed for the flame be able to burn.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de transmutación.
45	<i>[Nerea]: I read the last question again: "If you had a microscope:: What do you think would you see?"</i>	Le as instrucións da actividade e solicita respostas para a pregunta.
46	<i>[Natalia]: I think that the flame would change in colour, but I don't remember the colours.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de representación microscópico.
47	<i>[Nerea]: I think that it turns from blue to red.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de representación microscópico.
48	<i>[Nuria]: I also think as Natalia. I could see the flame gradually getting smaller and smaller and also seeing the colours of the flame change because it's getting weaker when you cut off the oxygen.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de representación microscópico.

Coa última tarefa desta actividade, na que se pedía aos estudantes que describisen o que pensasen que sucedería se puidesen observar o fenómeno cunhas lentes máxicas ou un microscopio de gran resolución, pretendíase que os estudantes empregasen o modelo atómico-molecular para interpretar a combustión dunha candeia. Como se observa nas quendas de fala 45 a 48, os participantes non chegaron

a interpretar o fenómeno en termos de reorganización de partículas. No seu lugar, mencionaron que serían quen de ver os cambios de cor que experimenta a chama da candeia a medida que se vai extinguindo.

En canto aos datos procedentes dos cuestionarios, é preciso mencionar que dúas participantes, Natalia e Nuria, non escribiron ningunha explicación para o sucedido, describindo unicamente o observado durante o devir do fenómeno.

Os demais integrantes do grupo, Nicolás e Nerea, proporcionaron explicacións que se poden considerar indicadoras de que están a activar un modelo de transmutación, ao incluír a idea do osíxeno como “alimento” ou recurso necesario para manter viva a chama (T2). Asemade, ao intentar explicar a aparición de gotas de auga, Nerea incorpora unha nova idea ao modelo de transmutación ao insinuar na súa resposta que unha substancia se transforma noutra diferente (T5), neste caso o fume transformaría-se en vapor de auga. A modo de exemplo, transcríbese a resposta escrita de Nerea (ver Figura 5.35).

Explain what you have seen.
I have seen a lit candle being turned off because of the fire not getting any oxygen. It turned out this way because the fire starts blowing out and the smoke rises up and causes a steam to appear at the top of the vessel.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.
I suppose I would see a zoomed in flamed getting smaller as if something is being taken from it, slowly and slowly. I would also have seen the flame changing its color from blue to orange, from going strong to weak.

Figura 5.35. Resposta escrita de Nerea durante a fase de explicación

5.5.5.4 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo L (EC4)

En virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos, considerouse conveniente dividir a análise do discurso en tres episodios. O primeiro episodio deste evento esténdese das quendas de fala 1 a 15. Durante o mesmo, os participantes discuten acerca do que pensan que sucede ao quentar

azucres. A duración do segundo episodio abrangue das quendas de fala 16 a 48. Durante dito episodio os estudantes dispóñense a executar a experiencia ao tempo que observan os cambios que teñen lugar. O terceiro e último episodio deste evento esténdese das quendas de fala 49 a 87. Durante este episodio os participantes han de construír unha explicación para o sucedido, intentado conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición inicial. A análise do discurso conxúgase coa análise das respostas escritas nos cuestionarios. O emprego de dúas fontes de datos permite contrastar os resultados obtidos constituíndo un mecanismo de triangulación co que outorgar maior validez á análise cualitativa, que se caracteriza por ser eminentemente interpretativa.

Predición

Durante o primeiro episodio deste evento, no que se identifican 15 quendas de fala, os estudantes formulan predicións acerca do que pensan que sucede ao queimar azucres nun tubo de ensaio (ver Cadro 5.38). Cómpre mencionar que o alumnado centrou os seus esforzos en rexistrar por escrito a predición e a xustificación correspondente, quedando a discusión relegada a un segundo plano. Na quenda de fala 1 obsérvase como Laura considera importante coñecer a composición do azucres de cara a formular unha predición, de aí que solicite información aos demais integrantes do grupo. Na quenda de fala 2 obsérvase como Leticia responde á demanda de Laura, sinalando que o azucres está formado por carbón. Na quenda de fala 13 esta mesma alumna engade que todos os alimentos están constituídos por carbono. En base a este coñecemento teórico adquirido no ámbito académico, Leticia predí que o azucres arderá. A resposta desta alumna non permite inferir o modelo que está a activar para predicir a transformación que sufrirá o azucres ao queimalo. Asemade, nas quendas de fala 6 a 10 obsérvase como tres participantes (Laura, Lidia e Leticia) pensan que o azucres se tornará líquido. Esta resposta pódese considerar indicadora de que estas alumnas están a activar un modelo de modificación segundo o cal a substancia segue a ser a mesma (M2), véndose alteradas unicamente as súas propiedades físicas, neste caso o estado de agregación, que mudaría de sólido a líquido.

Cadro 5.38. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
1	[Laura]: <i>What are sugar made of?</i>	Solicita información acerca da composición do azucre.
2	[Leticia]: <i>Ah:: coal.</i>	Indica que o azucre está formado por carbón.
6	[Leticia]: <i>How do you spell liquid?</i>	Pide axuda para escribir unha palabra.
7	[Lidia]: <i>L-I-Q/</i>	Presta axuda á compañeira.
8	[Laura]: <i>quid.</i>	Completa a palabra.
9	[Lidia]: <i>Liquid, yes! ((risas)).</i>	Confirma que a palabra escrita é correcta.
10	[Laura]: <i>Liquid consistence. Consistence:: Will become:: will become:: ((escribindo a súa predición)).</i>	Le a predición que inclúe no cuestionario.
13	[Leticia]: <i>We dealt with matter when we had science, you know. We dealt with carbon. What's food have is carbon so, it burns. We burns this, I don't know as well.</i>	Recorre a un coñecemento teórico para emitir unha predición.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, vemos que tres alumnos deste grupo (Lucas, Laura e Lidia) dan respostas que podemos considerar indicadoras de que están a activar un modelo de modificación para interpretar o que pensan que lle pode suceder ao azucre. Estes participantes predín que o azucre pasará ao estado líquido e se volverá de cor marrón e/ou negra. A xustificación que dan para esta resposta baséase en que o azucre se quenta en exceso, incorporando así a idea da calor como axente que desencadea o cambio (M1). Asemade, estes tres alumnos sinalan que se o aporte de enerxía en forma de calor se prolonga demasiado no tempo, o azucre acaba queimándose (ver Figura 5.36). Consideramos que esta interpretación ten unha orixe social, por mor da asociación que se fai da palabra “queimado” na vida diaria. Noutros traballos como o estudo de Gabel et al. (2001) xa se puxo de manifesto a idea de que os estudantes tenden a considerar que unha substancia se “queima” cando adquire unha coloración negra ao quentalas.

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?

I think the sugar starts to melt then it will get brown and if you heat it up too much it will get burned. I also think it will give some kind of a strange smell.

Why? (Here you must justify your previous answer).

When you heat sugar it gets too hot and that's why it starts to melt and get brown. The consistence will become a thick and slimy kind of liquid.

Figura 5.36. Resposta escrita de Lidia durante a fase de predición

No caso de Leticia, esta participante reflicte no cuestionario a idea que manifestara durante a discusión en grupo, ao sinalar que o azucre se vai queimar. A interpretación desta alumna, comparable a un modelo de reacción química, procede da idea de que o azucre presenta na súa composición carbono. Na Figura 5.37 recóllese a resposta escrita desta alumna durante a fase de predición.

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?

The sugar will melt and burn up and let out H₂O leaving behind carbon in the burnt up remains.

Why? (Here you must justify your previous answer).

Sugar is made out of carbon and it is left behind when the binding agent as water.

C₁₂H₁₁O₁₂ formula for sugar

Figura 5.37. Resposta escrita de Leticia durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento ten unha duración que se estende da quenda de fala 16 a 48 (ver Cadro 5.39). Durante dito episodio os estudantes executan a experiencia ao tempo que observan todo o que sucede a medida que se quenta o azucre. Nas quendas de fala 16 a 18 vese como dúas estudantes, Leticia e Lidia, fan explícitas as primeiras observacións. Estas alumnas expresan que o azucre se está a derreter, fai burbullas e adquire unha tonalidade escura. Na quenda de fala 25 prodúcese de novo a intervención de Leticia para engadir que se está a depositar auga sobre as paredes do tubo de

ensaio no que se está a quentar o azucre. Na quenda de fala 36 obsérvase como Leticia identifica o vapor de auga que se desprende do tubo de ensaio con fume.

Cadro 5.39. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
16	[Lidia]: <i>It's melting. Should we write?</i>	Realiza observacións.
17	[Leticia]: <i>Yeah, it's melting. The sugar is melting and bubbling.</i>	Realiza observacións.
18	[Lidia]: <i>The sugar starts to get really dark.</i>	Realiza observacións.
25	[Leticia]: <i>We can now see the water.</i>	Realiza observacións.
34	[Leticia]: <i>This is water. Look at it! I think that it's because the water is dropping out at a high temperature.</i>	Dá unha explicación para a aparición de auga sobre o tubo de ensaio.
35	[Lidia]: <i>The sugar starts to melt and bubbling. How do you say "rök"?</i>	Rexistra no cuestionario as observacións.
36	[Leticia]: <i>Eh:: smoke. Writing down, writing down! Smoking and becoming black.</i>	Insta ao grupo a anotar as observacións.
40	[Lidia]: <i>It was steam. Ok so, the sugar is melting and bubbling and after a while it starts to get black and there's water on the sides of the tube and there's smoke coming out of it.</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario.
43	[Lidia]: <i>And the consistence is thick.</i>	Define como densa a consistencia dos restos da descomposición.
44	[Leticia]: <i>Solid.</i>	Observa que os restos da descomposición se atopan en estado sólido.
45	[Lidia]: <i>It is hard.</i>	Cualifica como duros os restos da descomposición.
46	[Leticia]: <i>Yeah, it's solid.</i>	Observa que os restos da descomposición se atopan en estado sólido.

Na quenda de fala 40 intervéen Lidia para remarcar que o que saía do tubo de ensaio non era fume senón vapor de auga. Non obstante, ao final desta intervención, Lidia tamén emprega o termo “fume” para referirse ao vapor de auga que sae do tubo de ensaio. Deste xeito,

parece que esta alumna emprega os termos de “vapor de auga” e “fume” como sinónimos⁴.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, todos os estudantes escribiron as mesmas observacións que as expresadas verbalmente. Asemade, vese como tres participantes (Lidia, Laura e Leticia) identifican a substancia que se obtén no tubo de ensaio ao concluír a transformación cunha masa sólida de carbono. A modo de exemplo, reproducécese a resposta escrita de Laura (ver Figura 5.38).

Write what you observe when sugar is heated.
The sugar is melting and bubbling after a while it started to get black and it formed water on the top of the test tube, and then it came out a lot of smoke. The consistence is thick, hard and soiled carbon.

Figura 5.38. Resposta escrita de Laura durante a fase de observación

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento abrangue das quendas de fala 49 a 87. Durante dito episodio os participantes intentan construír unha explicación plausible para o sucedido na que se contemplan as observacións efectuadas. Nas quendas de fala 51 a 53 (ver Cadro 5.40) obsérvase como dúas alumnas deste grupo, Leticia e Lidia, suxiren que a molécula de auga como tal forma parte do azucre e que, ao subministrarse enerxía en forma de calor, a auga se evapora quedando unicamente un remanente de carbono no tubo de ensaio. A través destas intervencións non queda claro se estas alumnas están a pensar no azucre como unha especie de hidrato⁵ ou como azucre

⁴ Non obstante, desde o punto de vista científico os termos de “fume” e “vapor de auga” non son intercambiabes. Por vapor de auga enténdese auga en estado gasoso, mentres que se denomina fume á mestura complexa de sólidos en suspensión, vapores e gases que se forman cando un material sofre unha combustión ou pirólise.

⁵ Un hidrato é un termo que se utiliza en Química para facer referencia a compostos cristalinos que posúen un certo número de moléculas de auga. Estas moléculas de auga poden atoparse unidas ao composto anhidro mediante un enlace covalente coordinado cun catión metálico, mediante pontes de hidróxeno ou ben pode estar atrapada na estrutura cristalina do hidrato (Daub & Seese, 1996). Cando os hidratos se someten a temperaturas altas, a rede rompe liberándose total ou parcialmente a auga.

humedecido. Ao non haber constancia de se as alumnas pensaban no azucre desde a perspectiva de hidrato ou azucre humedecido, consideramos máis conveniente adoptar unha perspectiva conservadora e encadrar estas explicacións nun modelo híbrido de modificación e reacción química. En calquera caso, estas alumnas interpretan que a auga que supostamente está presente no azucre muda o seu estado de agregación (M2), sendo a calor o axente que desencadea este cambio de propiedades físicas (M1), ao tempo que incorporan ideas propias do modelo de reacción química como a conservación de elementos, ao considerar que os produtos conteñen os reactivos nunha combinación química diferente.

Cadro 5.40. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
51	[Lidia]: <i>Is in there any water? In sugar? And when we heat it up, it disappears.</i>	Suxire que o azucre poder conter auga.
52	[Leticia]: <i>Evaporates, yeah. It evaporates out of the carbon which is left behind. This is mostly carbon, there's a bit of sugar left because of the crystallization here::</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada na evaporación de auga.
53	[Lidia]: <i>Yeah.</i>	Concorda coa explicación da compañeira.
54	[Laura]: <i>But it's mostly carbon.</i>	Identifica os restos da descomposición como carbono principalmente.
55	[Leticia]: <i>It's mostly carbon.</i>	Identifica os restos da descomposición como carbono principalmente.

Na quenda de fala 58 obsérvase como Lidia elabora unha explicación consistente cun modelo híbrido entre o modelo de transmutación e o modelo de modificación (ver Cadro 5.41). Esta alumna fai referencia na súa explicación a que o azucre contén auga que se evapora por mor do aporte de calor quedando soamente carbono, de aí a formación dunha masa sólida de cor negra no tubo de ensaio, e engade que o vapor de auga que se forma se transforma de seguido en fume e dióxido de carbono. Vemos que esta alumna incorpora na súa explicación unha idea comparable ao modelo de transmutación ao mencionar que unha substancia se transforma noutra

substancia diferente sen conservarse a identidade a nivel atómico (T1), neste caso a auga transmutaríase en dióxido de carbono. Ao mesmo tempo, esta alumna incorpora unha idea característica do modelo de modificación ao sinalar que a auga muda o seu estado de agregación (M2), sendo a calor o axente que desencadea o cambio de propiedades da substancia (M1).

Cadro 5.41. Fragmento da discusión [2] durante o episodio de explicación do grupo L

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
58	<i>[Lidia]: Evaporated steam becomes smoke and is now taking parts of the CO₂. Also, the sugar formed a lot of steam that later condensed and form water droplets. The mixture got black leaving behind all of the carbon thus making a thick black mass. Soon the evaporated steam becomes smoke and is now taking part of the CO₂.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que introduce ideas comparables ao modelo de transmutación e modificación.
59	<i>[Laura]: If you had a microscope with a high resolution how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.</i>	Le o enunciado da actividade.
60	<i>[Leticia]: I think that the heat helps that the carbon and the:::</i>	Intenta construír unha resposta.
61	<i>[Laura]: The carbon and the::</i>	Colabora coa compañeira na elaboración dunha resposta.
62	<i>[Leticia]: The carbon and oxygen but:: Hydrogen, yeah, fuse. That's why we had water, not the carbon::</i>	Dá unha resposta baseada nunha reorganización de átomos.
63	<i>[Lidia]: We don't have any carbon.</i>	Rexeita parcialmente a explicación da compañeira.
64	<i>[Leticia]: Not the carbon:: eh:: the oxygen and the hydrogen fuses inside of the carbon and then they:: later these evaporate. Then they condensate and become in water droplets.</i>	Dá unha resposta baseada nunha reorganización de átomos.
81	<i>[Lidia]: The hydron.</i>	Nomea de xeito inadecuado o elemento hidróxeno.
82	<i>[Leticia]: Hydrogen not hydron.</i>	Corrixe á compañeira.
83	<i>[Lidia]: Hydrogen, sorry:: blind and form H₂O. This:: thus:: thus leaving behind the carbon::</i>	Dá unha resposta baseada nunha reorganización de átomos.

Na quenda de fala 59 outra alumna, Laura, dispónse a ler a última pregunta do cuestionario na que se pedía aos participantes que pensasen acerca do que sucedería se puidesen visualizar o fenómeno a través dun microscopio de gran resolución. A finalidade desta pregunta era que os estudantes interpretasen o fenómeno de acordo co modelo atómico-molecular da materia. Nas quendas de fala 60 a 64 obsérvase como esta pregunta axuda a Leticia a activar un esquema de interpretación microscópico. Malia que esta alumna non chega a empregar de forma explícita os termos de “átomo” ou “molécula”, nas súas intervencións intúese unha incipiente interpretación corpuscular do cambio, situándose no modelo de reacción química correspondente ao terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e cambios químicos. Por exemplo, na quenda de fala 64 esta estudante menciona que o osíxeno e o hidróxeno presentes no azucre se unen para formar auga, que se evapora e posteriormente condensa, de aí a formación de gotas nas paredes do tubo de ensaio, quedando un remanente de carbono. Nas quenda de fala 81 a 83 obsérvase como a interpretación de Leticia é compartida pola súa compañeira Lidia.

A propósito da análise do discurso cómpre mencionar que durante a discusión non chegou a producirse ningunha intervención dun dos integrantes deste grupo, Lucas, quen amosou unha actitude moi pasiva e unha implicación moi baixa durante toda a tarefa. En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, este estudante, Lucas, escribiu unha resposta puramente descritiva, non chegando a activar ningún modelo para interpretar o que lle sucede ao azucre. As demais integrantes do grupo (Lidia, Laura e Leticia) escriben na última pregunta do cuestionario unha resposta que se pode considerar indicadora de que están a activar un modelo de reacción química, ao facer referencia a idea de que o hidróxeno e o osíxeno presentes no azucre se combinan para formar auga, quedando unicamente carbono (ver Figura 5.39). Non obstante, na resposta que escriben para intentar explicar o sucedido tamén fan referencia a que o vapor de auga que se forma se transforma en fume, unha idea consistente co modelo de transmutación, o que fai pensar que posiblemente estas alumnas se sitúen máis ben nun modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química.

Explain what you have seen.

I saw the sugar form a lot of steam that later on condensed and formed water drops. The mix tube got black leaving behind all of the carbon this making in a thick, black mass. Soon the evaporated steam becomes smoke and is now taking part of the CO_2 .

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.

The heat helps the hydrogen and oxygen bind and form H_2O thus leaving behind the carbon remains.

Figura 5.39. Respuesta escrita de Lidia durante a fase de explicación

5.5.5.5 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo M (EC4)

En virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos, a análise deste evento estrutúrase en tres fases. Durante a primeira fase da intervención os estudantes tiñan que emitir predicións acerca do que sucede ao quentar azucre. Ao non establecerse ningunha interacción entre os participantes durante esta primeira fase da intervención, a análise de datos baséase exclusivamente nas producións escritas dos participantes. Nas seguintes fases da intervención a discusión foi máis produtiva, de aí que se conxugue a análise do discurso transcrito cos datos procedentes dos cuestionarios. Debido á ausencia de intervencións durante a fase de predición, na análise do discurso unicamente se contemplan dous episodios (observación e explicación). O primeiro episodio, integrado por aquelas intervencións nas que o alumnado executa e observa o fenómeno, comprende as quendas de fala 1 a 41. O segundo episodio deste evento, integrado polas intervencións nas que os estudantes constrúen unha explicación para o observado intentando conciliar as discrepancias existentes entre as observacións e a predición inicial, abrangue da quenda de fala 42 a 66.

Predición

Na primeira pregunta do cuestionario pediuse aos estudantes que escribisen o que pensaban que ía suceder ao quentar azucre. Todos os participantes escribiron como predición que o azucre se ía derreter. Na

segunda pregunta do cuestionario pedíase aos estudantes que xustificasen a predición anterior. Tres alumnos deste grupo (Mateo, Mario e Manuel) deron respostas que podemos considerar indicadoras de que estaban a activar un modelo de reacción química, situándose así no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). Estes alumnos fixeron referencia a que os átomos de hidróxeno e osíxeno presentes no azucre se combinaban para formar auga, quedando unicamente carbono no tubo de ensaio, de maneira que os elementos presentes no reactivo (azucre) estaban contidos nos produtos nunha combinación química diferente. Deste xeito, obsérvase que os estudantes interpretaron o fenómeno en termos de reorganización da estrutura microscópica aplicando a idea de conservación de átomos. Non obstante, Mario describiu o fenómeno como unha combustión en lugar de consideralo unha descomposición térmica. Outros autores como Gabel et al. (2001) xa sinalaran as dificultades do alumnado para distinguir entre combustión e descomposición térmica, ao considerar o desprendemento de vapor de auga e a negrura do carbono como evidencias de que o azucre se está a queimar. Consideramos que esta falta de distinción entre combustión e descomposición térmica pode ter unha orixe social, debido ao uso que se fai do termo “queimado” na vida diaria. Como sinala Solomon (1998), a linguaxe científica comparte a miúdo termos coa linguaxe diaria incorporando as asociacións comúns que se fai deles, de aí que se poida ver alterada a comprensión de certos conceptos científicos. A modo de exemplo, reproducécese a resposta escrita de Mario (ver Figura 5.40).

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?
 I think that it will melt and turns into coal.

Why? (Here you must justify your previous answer).
 The melting point of sugar is low enough to use a conventional propane/butane burner. The molecules start dislodging from each other and so the sugar melt. The C, H and O atoms will form H₂O (boils away as steam) and coal (C) during combustion.

Figura 5.40. Reposta escrita de Mario durante a fase de predición

En canto a Martina, esta alumna elaborou unha resposta na que se atribúe comportamento material aos átomos ao facer referencia a que os átomos que non eran de carbono se evaporaban (ver Figura 5.41). Esta idea alternativa ao modelo cinético-molecular e ao modelo atómico-molecular da materia na que se atribúen propiedades macroscópicas ás partículas, de maneira que estas se poden dilatar, cambiar de estado ou mesmo de cor, trátase dunha idea amplamente recorrente entre o alumnado que xa foi descrita por outros autores (e. g. Domínguez et al., 1996). En virtude desta resposta, pódese considerar que esta alumna activou un modelo de modificación para xustificar os cambios que pensaba que ían suceder no azucre.

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?
 The sugar will start to boil and when that happens the sugar will turn into a dark brown color and when it's cooled it will solidify.

Why (Here you must justify your previous answer).
 When the sugar is heated up and boiled all of the atoms that aren't coal will evaporate and all that is left is coal.

Figura 5.41. Reposta escrita de Martina durante a fase de predición

Observación

O primeiro episodio deste evento, durante o que os estudantes desenvolven a actividade ao tempo que observan o que sucede, abrangue da quenda de fala 1 a 41 (ver Cadro 5.42). Nas quendas de fala 22 a 30 teñen lugar as primeiras observacións.

Na quenda de fala 22 prodúcese a intervención de Mario para sinalar que o azucre se está derretendo ao tempo que adquire unha cor marrón escura. Na quenda de fala 24 obsérvase como outro alumno, Mateo, ao ver a produción de burbullas no seo da mestura, menciona que está fervendo. Este mesmo alumno, na quenda de fala 26 engade que a causa da formación de burbullas probablemente sexa o desprendemento de vapor de auga. Na quenda de fala 27 prodúcese a intervención de Manuel quen establece unha comparación entre o produto resultante da reacción de descomposición térmica e unha

sobremesa de cor escura que se come habitualmente durante o Nadal en Suecia coñecida como “knäck”. Na quenda de fala 30 obsérvase como Mario fai referencia a que a substancia de cor negra que permanece no tubo de ensaio despois de quentar o azucre consiste en carbón.

Como puidemos observar a partir da análise deste episodio, as interpretacións que os estudantes fan de cada unha das observacións son totalmente pertinentes e consistentes coa explicación do fenómeno desde o punto de vista da ciencia.

Cadro 5.42. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo M

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
22	<i>[Mario]: We can see that the sugar is melting and getting brown and darkish.</i>	Realiza observacións.
23	<i>[Manuel]: Yeah.</i>	Concorda coa observación do compañeiro.
24	<i>[Mateo]: It's boiling.</i>	Realiza observacións.
25	<i>[Manuel]: Yeah.</i>	Concorda coa observación do compañeiro.
26	<i>[Mateo]: It's probably the water from the sugar.</i>	Identifica a formación de burbullas coa liberación de vapor de auga.
27	<i>[Manuel]: It's like when we eat for Christmas here in Sweden the “knäck”. Definitely recommended.</i>	Establece unha analoxía entre a aparencia dos restos da descomposición e unha sobremesa sueca.
29	<i>[Manuel]: Funny sounds! ((referíndose ao son producido polo desprendemento de vapor de auga)).</i>	Describe como divertidos os sons que produce o desprendemento de vapor.
30	<i>[Mario]: I think that it turned into coal. We won't be able to wash this.</i>	Identifica con carbón os restos da descomposición.

En relación aos cuestionarios, todos os participantes rexistraron por escrito as observacións de que o azucre se derrete e cambia de cor. Dous participantes (Manuel e Mario) fixeron referencia a que se libera vapor de auga. Tres participantes (Manuel, Mario e Mateo) escribiron que a substancia que permanece no tubo de ensaio despois de quentar o azucre se trata de carbono, anticipando na descrición do observado parte da explicación do fenómeno. Dous alumnos (Martina e Mateo) tamén indicaron que a mestura ferveu. A modo de exemplo,

reprodúcese a resposta escrita de Manuel durante esta fase da intervención (ver Figura 5.42).

Write what you observe when sugar is heated.
The sugar melted, turned into dark liquid with steam coming off,
before finally only carbon remaining.

Figura 5.42. Resposta escrita de Manuel durante a fase de observación

Explicación

O segundo e último episodio deste evento, durante o que os estudantes tiñan que construír unha explicación acerca do observado durante o fenómeno, comprende da quenda de fala 42 a 66 (ver Cadro 5.43).

Na quenda de fala 43 obsérvase como Mario constrúe unha explicación para o fenómeno consistente co modelo de reacción química, no que introduce a idea de reorganización de átomos para dar lugar á formación de novas substancias, manténdose no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al., 2014) durante toda intervención. Este alumno fai referencia a que os átomos de osíxeno e hidróxeno se combinan para formar auga, mentres que os átomos de carbono permanece no fondo do tubo de ensaio no que se quentou o azucre formando carbón.

Na quenda de fala 44 obsérvase como Manuel acepta a explicación que Mario constrúe acerca do fenómeno. Nas quendas de fala 46 a 51 obsérvase como os estudantes expresan a necesidade de coñecer a fórmula química do reactivo, neste caso o azucre, para poder coñecer o resultado da transformación. Estes estudantes entenden que os produtos dunha transformación química conteñen aos elementos que integran aos reactivos nunha combinación química diferente.

Na quenda de fala 46 obsérvase como Mario menciona que descoñece se a fórmula química $C_6H_{12}O_6$ representa ao azucre ou á glicosa⁶. Na quenda de fala 51 obsérvase como Mario sinala que hai diferentes tipos de glúcidos, aos que el denomina azucres, pero que todos eles conteñen na súa estrutura átomos dos elementos químicos carbono, hidróxeno e osíxeno, sendo isto suficiente para interpretar o resultado do cambio.

Cadro 5.43. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo M

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
42	[Manuel]: <i>All right. So, what just happened?</i>	Solicita explicacións.
43	[Mario]: <i>The oxygen and the hydrogen atoms turn into H_2O which we know as water and the water steam, and the coal atoms remained at the bottom of the test tube and form coal.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno baseada nunha reorganización de átomos.
44	[Manuel]: <i>Yes. I won't question that. It's suited to me.</i>	Concorda coa explicación do compañeiro.
46	[Mario]: <i>I don't know if the reaction formula for this is $C_6H_{12}O_6$. If that it's for glucose or for the sugar.</i>	Manifesta dúbidas coa fórmula química do azucre.
47	[Manuel]: <i>That's the problem.</i>	Considera necesario coñecer a fórmula química do azucre.
48	[Mateo]: <i>What's the problem?</i>	Solicita definir o problema.
49	[Mario]: <i>We need the formula for the sugar.</i>	Considera necesario coñecer a fórmula química do azucre.
50	[Mateo]: <i>You can use $C_6H_{12}O_6$. I think that you can use that because it's mainly that I think.</i>	Suxire empregar como alternativa a fórmula química da glicosa.
51	[Mario]: <i>The thing is:: each type of</i>	Manifesta coñecer os

⁶ A glicosa, de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$, trátase dun monosacárido ou azucre simple que ten un grupo carbonilo (aldehído) nun extremo, e contén seis átomos de carbono, de aí que tamén se coñeza como aldohexosa ou dextrosa. Sen embargo, o azucre común trátase dun disacárido formado por unha molécula de glicosa e outra de frutosa coñecido como sacarosa de fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$. Porén, as moléculas de glicosa e de azucre común están integradas polos mesmos elementos químicos, é dicir, polo mesmo tipo de átomos, que se atopan en diferente proporción. Para poder coñecer o resultado dunha transformación química é suficiente con coñecer o tipo de átomos polos que están formadas as substancias. Soamente se necesita coñecer a fórmula química das substancias que participan na transformación para escribir a ecuación química axustada que represente a reacción química.

	<i>sugar has some different kind of formula. So, I don't know if it corresponds to this one. So, it's like $C_6H_{12}O_6$ or something. I don't know. So, I won't write the reaction formula, but it contains coal, hydrogen, and oxygen.</i>	elementos que integran o azucre, pero non a proporción na que se atopan.
65	<i>[Martina]: Eh:: I wrote in my observation that it slowly turned into a blackish/brownish liquid and when it started to boil, smoke came out and it started to smell a lot. In my explanation, I wrote that:: well I wrote the same thing as I wrote in my prediction because I don't really know why it happens.</i>	Mantén a predición inicial debido a unha incapacidade de explicar o observado.
66	<i>[Mario]: All right. I would like to add that I've written the elements C, H, O, but I didn't have the formula for this type of sugar so I couldn't balance it. This is group 2 with Mario, Manuel, Mateo and Martina.</i>	Establece como aclaración que non escribe a ecuación química axustada que representa o proceso por descoñecer a proporción na que se atopan os elementos que integran o azucre.

Na penúltima quenda de fala deste episodio, Martina admite que non é quen de construír unha interpretación plausible para o observado, de aí que na pregunta do cuestionario na que se pide aos estudantes que expliquen o observado escribira o mesmo que na predición. Nesta explicación vese que identifica o vapor de auga que se desprende durante a descomposición térmica da sacarosa con fume.

En relación aos datos recollidos a través dos cuestionarios, tres estudantes (Mateo, Mario e Manuel) construíron explicacións para o observado consistentes co modelo de reacción química.

Manuel describe o proceso mediante a activación dun esquema de representación macroscópico en virtude do cal a substancia de partida dá lugar a outras substancias diferentes conservándose a identidade a nivel atómico. En concreto, este alumno fai referencia a que o azucre se transforma en auga e carbón, engadindo que a auga pasa ao estado gasoso debido ao aporte de calor, explicando así a observación de vapor de auga e o feito de que quedara unicamente o carbono no tubo de ensaio (ver Figura 5.43).

Explain what you have seen.
 The sugar in the tube turns into water (H_2O) and coal (C), hence it being a liquid. The water evaporates, explaining the steam leaving only the carbon left.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.

First all, the sugar becomes C and H_2O , then the H_2O becomes water vapor, because of the heat.

Figura 5.43. Resposta escrita de Manuel durante a fase de explicación

Pola súa banda, Mateo sinala na súa resposta (ver Figura 5.44) que, xunto co vapor de auga, tamén se desprende dióxido de carbono, sendo este gas o resultado da unión dos átomos de carbono e osíxeno. Se ben desde o punto de vista científico durante a descomposición térmica da sacarosa non se forma dióxido de carbono, a interpretación deste alumno ten en conta a conservación de átomos.

Explain what you have seen.
 The H and O in the sugar got together and turned into H_2O and went up in the air, soon C and O also got together as CO_2 and went with the steam. What's left is the base element coal and some H and O who did not go away.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.

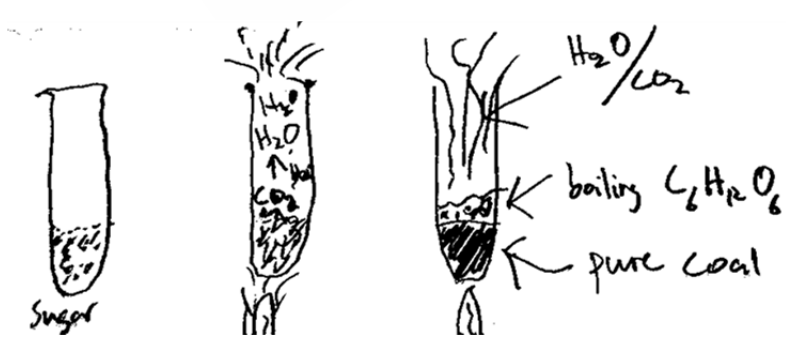


Figura 5.44. Resposta escrita de Mateo durante a fase de explicación

Por outra banda, ante a última pregunta do cuestionario, na que se pedía aos estudantes que escribisen o que sucedería se puidesen observar o fenómeno cunhas lentes máxicas ou cun microscopio de alta resolución, como se observa na Figura 5.45, un alumno, Mario, constrúe un esquema onde se amosa o empacamentamento dos átomos que constitúen a sacarosa no estado sólido, o aumento da mobilidade e da separación media entre as partículas no estado líquido, e as moléculas de auga e os átomos de carbono que se obteñen como resultado da transformación química.

En canto a Martina, como xa se mencionou anteriormente, esta alumna unicamente reproduciu nas últimas preguntas do cuestionario a resposta que escribira para a predición.

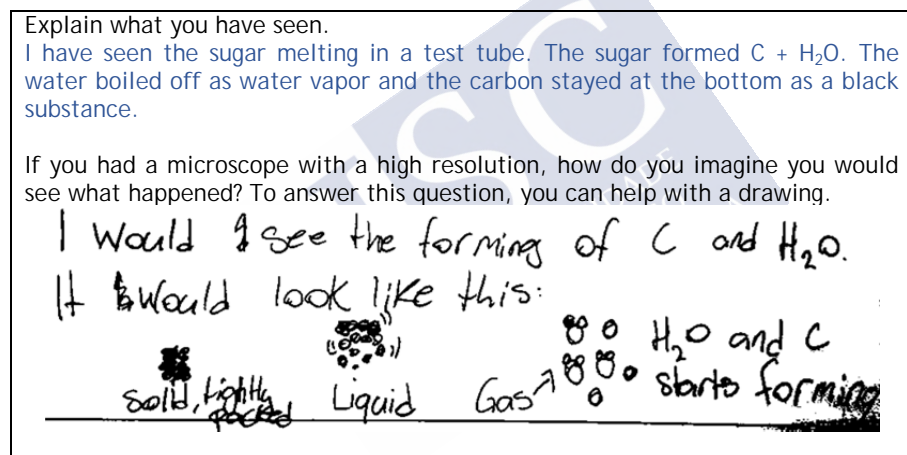


Figura 5.45. Resposta escrita de Mario durante a fase de explicación

5.5.5.6 Descomposición térmica do azucre: Análise do discurso do grupo N (EC4)

En virtude da estratexia POE (White & Gunstone, 1992) adoptada para a toma de datos, a análise deste evento estrutúrase en tres episodios. Durante o primeiro episodio deste evento, os participantes tiñan que pensar que sucedería ao quentar azucre, xustificando a predición. A duración deste episodio esténdese desde a quenda de fala 1 á 8. No segundo episodio, os estudantes debían desenvolver a actividade ao tempo que observaban o que sucedía. A duración do segundo episodio esténdese desde a quenda de fala 9 a 23.

O terceiro e último episodio, durante o que os estudantes tiñan que construír unha explicación para o observado, abrangue das quendas de fala 24 a 38. Cómpre mencionar que durante a interacción en grupo, o alumnado unicamente expresou oralmente a resposta escrita no cuestionario en lugar de implicarse activamente na práctica discursiva coa intención de dar sentido ao fenómeno.

Predición

A primeira tarefa da intervención esixía que os estudantes pensasen no que sucedería ao quentar azucre. Nas quendas de fala 3 a 8 prodúcese a formulación de predicións por parte do alumnado (ver Cadro 5.44).

Cadro 5.44. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de predición do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
3	<i>[Nerea]: The sugar melts.</i>	Emite unha predición.
4	<i>[Natalia]: Yeah.</i>	Concorda coa predición da compañeira.
5	<i>[Nerea]: Let's start with the predictions. Well, I think when the sugar in the test tube is heated up then the sugar will start melting and then turn black.</i>	Emite unha predición.
6	<i>[Natalia]: I think that the sugar will start to melt and then boil to harden.</i>	Emite unha predición.
7	<i>[Nuria]: I think the sugar will start bubbling as it melts because of the heat.</i>	Emite unha predición e dá unha explicación da predición.
8	<i>[Nicolás]: I think that when we heat it, the sugar will slowly turn brown and there will be steam that comes from the sugar until it has turned black and at the end it will stop boiling.</i>	Emite unha predición.

Na quenda de fala 5 obsérvase como Nerea pensa que o azucre se derreterá e adquirirá unha cor negra. Outra alumna, Natalia, sinala na quenda de fala 6 que o azucre se derreterá e logo sufrirá un proceso de ebulición ata adquirir unha consistencia dura. Na quenda de fala 7 obsérvase como Nuria propón unha predición semellante ao sinalar que o azucre se derreterá e ferverá por mor da calor. A partir dos datos recollidos nos cuestionarios, vemos que estas alumnas xustifican a súa

predición baseándose na enerxía que se transfire ao azucre en forma de calor, aumentando a temperatura do azucre e modificando o estado de agregación desta substancia (ver Figura 5.46).

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?
The sugar will start bubbling as it melts because of the heat.

Why? (Here you must justify your previous answer).
Because the heat warms up the sugar and turns it into a liquid.

Figura 5.46. Reposta escrita de Nuria durante a fase de predición

Estas respostas pódense considerar indicadoras de que estas alumnas están a activar un modelo de modificación, situándose no segundo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos (Hadenfeldt et al, 2014). As súas interpretacións baséanse na idea de que a substancia segue sendo a mesma habéndose modificado unicamente algunha das súas propiedades físicas como o estado de agregación ou a cor (M2), e consideran a calor como o axente que desencadea o cambio de propiedades da substancia (M1).

Na quenda de fala 8, outro alumno, Nicolás, fai referencia a que o azucre primeiro se volverá de cor marrón e logo de cor negra, engadindo que o cambio a cor negra irá acompañado do desprendemento de vapor de auga. A partir dos datos recollidos no cuestionario, vemos que este alumno xustifica a súa predición en base a que parte das “ cousas ” que hai no azucre pasan a estado gasoso, quedando unicamente carbono (ver Figura 5.47). A resposta deste alumno pódese considerar indicadora de que está comezando a activar un modelo incipiente de reacción química. Este alumno fai referencia na súa resposta a que o azucre se transforma noutras substancias diferentes, neste caso en carbono e vapor de auga. Non obstante, a partir da resposta que aporta o alumno non queda claro que entenda a auga que se desprende como o resultado dunha reorganización de átomos. Máis ben semella que este alumno considera que a molécula de auga como tal xa está presente no azucre, se ben non queda claro que se este alumno pensa no azucre como un hidrato ou simplemente como azucre humedecido. En consecuencia, adoptando unha perspectiva conservadora, podemos considerar que a interpretación

deste alumno se sitúa nun modelo de transición entre o modelo de modificación e o de reacción química.

What do you think will happen when the sugar contained in a test tube is heated?
When we heat it it will slowly turn brown and there will be steam that comes from the sugar until it has turned black and at the end it will stop boiling.

Why? (Here you must justify your previous answer).
When we heat the sugar we get rid of the stuff in it which turns into gas and leaves it with only carbon.

Figura 5.47. Reposta escrita de Nicolás durante a fase de predición

Observación

O segundo episodio deste evento iníciase na quenda de fala 9 e conclúe na quenda de fala 23 (ver Cadro 5.45). Durante dito episodio os participantes quentan azucre nun tubo de ensaio ao tempo que observan o que sucede. Na quenda de fala 10 prodúcese a intervención de Nerea para facer explícita a observación de que se está a desprender vapor de auga.

Nas quendas de fala 20 a 23 vese como os estudantes, unha vez que dan por finalizada a execución da experiencia, comparten as observacións que rexistraron por escrito nos cuestionarios. Como se pode observar nas quendas de fala 20 a 23, todos os estudantes manifestan haber visto como o azucre se converte nun sólido de cor negra. Nas quenda de fala 20 e 21 obsérvase como dúas estudantes, Nerea e Nuria, mencionan a formación de burbullas. Asemade, na quenda de fala 21 vese como Nuria fai referencia a que se desprende vapor de auga do tubo de ensaio empregado para quentar o azucre. Os demais participantes identifican o vapor de auga con fume.

Nos cuestionarios os estudantes escribiron as mesmas respostas que as expresadas verbalmente. A modo de exemplo reproducéase a resposta escrita de Nuria (ver Figura 5.48).

Write what you observe when sugar is heated.
The sugar starts slowly bubbling then the sugar moves up and down then steam forms as it turns brown then black. The sugar turns black and solid as steam/smoke escapes.

Figura 5.48. Reposta escrita de Nuria durante a fase de observación

Cadro 5.45. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de observación do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
10	<i>[Nerea]: Steam coming out.</i>	Realiza observacións.
11	<i>[Natalia]: Should I continue or::?</i>	Solicita indicacións para o desenvolvemento da actividade.
12	<i>[Nerea]: I suppose. It is solid?</i>	Pregunta polo estado de agregación dos restos da descomposición.
13	<i>[Natalia]: Yes, it's solid. I think so.</i>	Confirma á compañeira que os restos da descomposición de atopan en estado sólido.
20	<i>[Nerea]: When the sugar was heated then after a while it started boiling and bubbling. When it has been heated a while then smoke started rising up and the started drying and became solid black.</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario.
21	<i>[Nuria]: I think that the sugar slowly starts to bubble and then the sugar moves up and down, I really don't explain it, then the steam forms as it turns brown and slowly black, and then the sugar turns black and solid and steam still continuous to escape from the tube.</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario.
22	<i>[Natalia]: Ok, I said that the sugar turned into liquid and got darker in colour from brown to black and the smoke was coming out. While it was boiling, the bottom part started to turn hard.</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario.
23	<i>[Nicolás]: The sugar turns brown and thick. White smoke is released from it. At the end of the processes, it turns black and solid.</i>	Le as observacións rexistradas no cuestionario.

Explicación

O terceiro e último episodio deste evento abrangue das quendas de fala 24 a 38 (ver Cadro 5.46). Durante dito episodio os estudantes tiñan que construír unha explicación para o sucedido tendo en conta as observacións.

Na quenda de fala 24 obsérvase como Nerea interpreta o fenómeno baseándose na fórmula molecular da glicosa, sinalando que a auga e o osíxeno se evaporan quedando no tubo de ensaio unicamente carbono, de aí que se observe a formación dun sólido de cor negra. Esta explicación pódese considerar indicadora de que esta

alumna está a activar un modelo de transición entre o modelo de modificación e o modelo de reacción química. Na súa resposta obsérvase como esta alumna ten presente a conservación de átomos ao considerar que os produtos da transformación conteñen os elementos que integran ao reactivo (o azucre) nunha combinación química diferente. Sen embargo, semella que a estudante considera que a molécula de auga como tal forma parte do azucre en lugar de considerala como o resultado dunha reorganización de átomos, de aí que mencione que a auga se evapora ao subministrar ao azucre enerxía en forma de calor. Nas quendas de fala 26 e 27 obsérvase como Natalia e Nicolás constrúen explicacións semellantes, situándose tamén nun modelo de transición entre o modelo de modificación e o modelo de reacción química. En cambio, na quenda de fala 25 obsérvase como Nuria segue a activar un modelo de modificación para interpretar o que lle sucede ao azucre, manténdose no mesmo nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos durante toda a intervención. Na quenda de fala 25 vese como esta alumna considera que coa aplicación de calor o azucre se volve líquido e logo seca ata adquirir a consistencia dunha rocha. Esta alumna incorpora na súa explicación a idea da calor como axente que desencadea o cambio de propiedades da substancia (M1). Tamén inclúe a idea de que a substancia (o azucre) segue a ser a mesma, de xeito que durante a transformación soamente se ven afectadas as súas propiedades físicas (M2), neste caso o estado de agregación e a dureza.

Por outra banda, na última pregunta da tarefa pedíase aos estudantes que pensasen no que observarían se puidesen ollar o fenómeno cunhas lentes máxicas ou cun microscopio de alta resolución. Con esta pregunta pretendíase que os participantes activasen un esquema de interpretación microscópico. Non obstante, nas quendas de fala 28 a 31 obsérvase como os estudantes en ningún momento mencionan os termos de “átomo” ou “molécula”, facendo referencia soamente a que serían capaces de ver con máis detalle as transformacións macroscópicas que describiron nas súas explicacións do fenómeno.

Cadro 5.46. Fragmento da discusión [1] durante o episodio de explicación do grupo N

Quenda	Transcrición	Análise do discurso
24	<i>[Nerea]: Ah, ok. Explanation. I mean, I think that it turns out this way, the results that we have seen, because the chemical formula of sugar is $C_6H_{12}O_6$. When the sugar is heated, then the water starts evaporating in the sugar, and also the oxygen disappears in the smoke because it also evaporates, and all is left is carbon which can be seen as solid black.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de modificación e reacción química.
25	<i>[Nuria]: Eh:: it starts bubbling I think because the heat makes the sugar boil and the reason it turns black and solid is because too much heat is applied for it to stay a liquid, I think, and then the sugar dries up and becomes a rock hard.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de modificación.
26	<i>[Natalia]: Ok, I've written the sugar got smoked because the water evaporated and turned into smoke and steam, and in the end only thing left was carbon.</i>	Dá unha explicación na que incorpora ideas comparables ao modelo de modificación e reacción química.
27	<i>[Nicolás]: When we boiled sugar, it turned into gas except the carbon which became solid at the end. Sugar has carbon in it and when we boil it, the water in the sugar turns into gas form, and it releases from the sugar leaving only carbon.</i>	Dá unha explicación para o fenómeno na que incorpora ideas comparables ao modelo de modificación e reacción química.
28	<i>[Nerea]: Ok. If I had a microscope, then I'd have clearly seen the sugar melting and bubbling. I mean, I'd have seen how the bubbles formed, and I'd also have seen the smoke more clearly with the water and the oxygen, and I could have seen this hard carbon.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico ante a pregunta de que observarían se puidesen ver o fenómeno cun microscopio de alta resolución.
29	<i>[Nuria]: I would see more closely as the sugar goes from bubbling to solid, and also see the colour of the sugar change from brown to black.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.
30	<i>[Natalia]: I think I would be able to see the process more clearly and how the sugar melts and the changes in colour.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.
31	<i>[Nicolás]: I would be able to see how the sugar first turned brown while steam came from it and then how it would start boiling and turn black.</i>	Dá unha resposta na que non activa un esquema de interpretación microscópico.

En canto aos datos recollidos a través dos cuestionarios, os participantes escribiron as mesmas respostas que as expresadas verbalmente (ver Figura 5.49).

Explain what you have seen.
The result turns out this way because the chemical formula of sugar is $C_6H_{12}O_6$. When the sugar is heated then water starts evaporating in the sugar and the oxygen also disappear in the smoke along the water. Then all there is left is carbon which can be seen as solid black.

If you had a microscope with a high resolution, how do you imagine you would see what happened? To answer this question, you can help with a drawing.
If I had a microscope then I would have clearly seen the sugar melting and bubbling. I would also have seen the smoke more clearly with the water and oxygen and I could have clearly seen the solid carbon.

Figura 5.49. Resposta escrita de Nerea durante a fase de explicación

A modo de exemplo reproducéase a resposta escrita de Nerea (ver Figura 5.49), quen se sitúa nun modelo híbrido de modificación e reacción química, reproducindo a mesma interpretación que a expresada durante a discusión en grupo.

5.5.5.7 Síntese dos resultados obtidos no Estudo de Casos 4 (EC4)

Neste estudo de casos (EC4) pretendeuse describir os modelos mentais que varios estudantes do último curso (15 a 16 anos) da escolarización obrigatoria en Suecia activan cando intentan dar sentido a dous fenómenos da vida diaria como a combustión dunha candea e a descomposición térmica do azucre. Tamén se pretendeu describir como os modelos iniciais do alumnado se poden aproximar ao de reacción química cando teñen a oportunidade de reflexionar e discutir, e se enfrontan a preguntas que retan a consistencia dos seus modelos.

En relación aos modelos que os participantes activaron para predicir o fenómeno de combustión, en base aos resultados obtidos podemos concluír que a maioría dos estudantes tenden a describir inicialmente a combustión dunha candea en termos de transmutación (Andersson, 1990). Nas súas respostas foi recorrente a idea do osíxeno

como alimento para a chama. Unicamente dous estudantes, Nerea (EC4-N) e Mario (EC4-M), formularon predicións para describir a combustión dunha candeia no interior dun recipiente invertido que podemos considerar indicadoras de que estaban a activar un modelo de reacción química. Estes alumnos fixeron referencia ao triángulo do lume, facendo fincapé na necesidade de que exista unha interacción química entre o material combustible e o comburente, supeditando o mantemento dunha reacción de combustión á dispoñibilidade deses factores. Sen embargo, esta resposta constitúe unha interpretación macroscópica do fenómeno, na que non existen evidencias de que os estudantes entendan o proceso de combustión como unha reorganización de partículas.

Ao ter a oportunidade de observar, reflexionar e discutir sobre a posible interpretación do fenómeno, os resultados suxiren que os modelos iniciais de cinco participantes evolucionaron cara formas de razoamento máis sofisticadas. Estes estudantes, entre os que se inclúen Laura (EC4-L), Leticia (EC4-L), Lidia (EC4-L), Lucas (EC4-L) e Manuel (EC4-M), incorporaron ao modelo inicial de transmutación unha idea incipiente de interacción química entre o osíxeno do aire e a cera ou a chama, dando respostas comparables ás que Watson et al. (1997) incluíron nun modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química.

Por outra banda, seis estudantes activaron un mesmo modelo para interpretar este cambio químico durante toda a intervención. Cinco estudantes, entre os que se atopan Natalia (EC4-N), Nicolás (EC4-N), Nuria (EC4-N), Mateo (EC4-M) e Martina (EC4-M), construíron explicacións para o observado que podemos considerar indicadoras de que seguiron a activar un modelo de transmutación no que a idea máis reiterada fixo referencia ao osíxeno como alimento para a chama. Outro estudante, Mario (EC4-M), seguiu a construír unha explicación comparable ao modelo de reacción química ao incluír a idea de interacción química entre o osíxeno do aire e a cera da candeia. Sen embargo, non existiron evidencias de que este alumno, que desde o inicio da intervención expresou un modelo próximo ao modelo da ciencia escolar, chegase a activar un esquema de interpretación microscópico, pese a solicitarse de maneira explícita no cuestionario

que os estudantes pensasen no que sucedería se puidesen observar o fenómeno cun microscopio de elevada resolución.

Outra alumna, Nerea (EC4-N), que durante a fase da predición dera respostas indicadoras de que estaba a activar un modelo de reacción química desde unha perspectiva macroscópica, sufriu unha regresión no seu modelo inicial, dando respostas trala observación comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990). Semella que esta alumna rematou por acollerse ao modelo para a interpretación dos cambios químicos que exhibiron os demais integrantes do grupo.

Por outra banda, cómpre sinalar que unicamente cinco estudantes fixeron explícita a aparición de gotas de auga sobre as paredes do recipiente empregado para tapar a candeia. As dificultades para identificar os produtos da combustión dunha candeia, entre eles o vapor de auga, xa foron descritas en estudos previos (e. g. Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997). Entre aqueles que mencionaron a aparición de gotas de auga, soamente dous participantes intentaron integrar esta observación nos seus modelos mentais. Unha alumna, Leticia (EC4-L), explicou inicialmente esta observación mediante unha transmutación de substancias, neste caso de osíxeno en vapor de auga. Posteriormente, grazas a última pregunta do cuestionario que permitiu activar un esquema de razoamento microscópico, interpretou a aparición de auga en termos dunha combinación de átomos de hidróxeno e osíxeno. Outra estudante, Nerea (EC4-N), fixo referencia a unha transmutación de fume en vapor de auga.

A modo de resumo, na Figura 5.50 represéntase graficamente a evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) ao enfrontarse ao fenómeno de combustión dunha candeia. Neste tipo de representación reflíctese o modelo inicial de cada estudante (eixe horizontal) e cara que modelo se produce o cambio (eixe vertical).

En relación os modelos que os participantes deste estudo de casos (EC4) activaron para predicir a descomposición térmica do azucre, en base aos resultados obtidos podemos concluír que arredor da metade dos estudantes tenden a describir inicialmente o fenómeno en termos de modificación (Andersson, 1990). Seis de doce estudantes

establecieron como predicción que o azucre se ía derreter e cambiar de cor. Nas súas respostas incorporaron o elemento ou idea clave que fai referencia a que a substancia se conserva durante a transformación, véndose alteradas unicamente certas propiedades físicas como a cor ou o estado de agregación (M2). Asemade, estes estudantes xustificaron as súas predicións mencionando a calor como aquel axente responsable de desencadear o cambio de propiedades da substancia (M1).

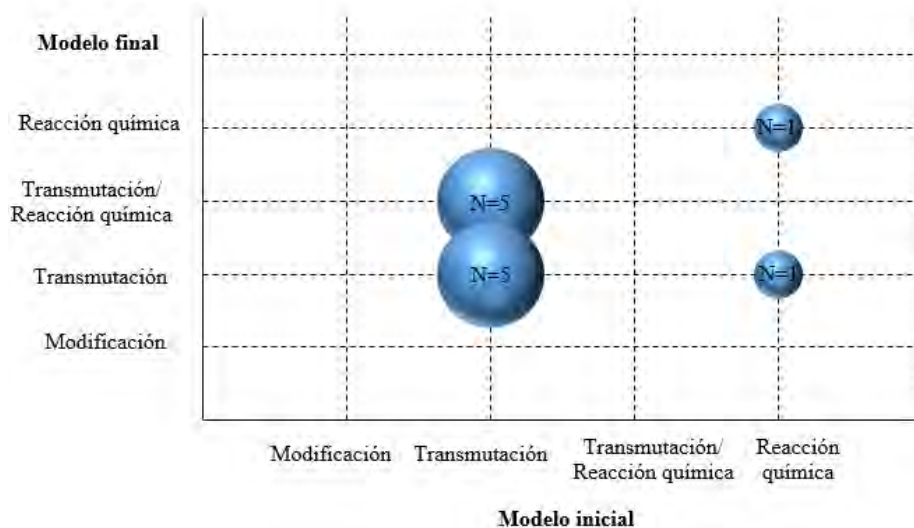


Figura 5.50. Evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) ao interpretar a combustión dunha candeia. Cada círculo representa os modelos mentais que activaron os participantes durante a fase de predición (eixe horizontal) e ao final da intervención (eixe vertical). O tamaño dos círculos representa o número de participantes que experimentaron cada cambio

Outra alumna, Martina (EC4-M), describiu inicialmente a descomposición térmica do azucre mediante a atribución de comportamento macroscópico aos átomos, ao sinalar que os átomos que non eran de carbono se ían evaporar. Esta idea alternativa ao modelo cinético-molecular e ao modelo atómico-molecular trátase dunha idea amplamente recorrente entre o alumnado que xa foi descrita por outros autores (e. g. Domínguez et al., 1996). A predición

construída por esta alumna durante a primeira fase da intervención dá a entender que os átomos dos elementos que compoñen o azucre non están enlazados quimicamente, de maneira que o único cambio que ten lugar durante a transformación é un cambio no estado físico dos átomos distintos aos átomos de carbono, os cales pasarían ao estado gasoso. Dita resposta tamén se pode considerar indicadora de esta alumna activou inicialmente un modelo de modificación para interpretar o fenómeno.

Pola contra, observouse como xa desde o inicio, catro estudantes activaron un modelo de reacción química comparable ao modelo da ciencia escolar no que tiveron en conta a conservación dos elementos durante a transformación química, situándose no terceiro nivel de progresión para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). Tres alumnos deste estudo de casos, entre os que se inclúen Manuel (EC4-M), Mario (EC4-M) e Mateo (EC4-M), estableceron como predición que o hidróxeno e o osíxeno presentes na estrutura química do azucre se ían combinar para formar auga, quedando no tubo de ensaio unicamente carbono. Asemade, Mario (EC4-M) engadiu que unha parte do carbono se combinaría co osíxeno para formar dióxido de carbono, o que evidencia que este alumno interpretou o fenómeno como unha combustión. De maneira semellante, outra alumna, Leticia (EC4-L), mencionou na súa resposta que o azucre ía arder. Esta aluman xustificou a súa predición baseándose en que a sacarosa se compón principalmente de carbono. Estas dificultades para distinguir claramente entre descomposición térmica e combustión xa foron descritas por outros autores (e. g. Gabel et al., 2001). Esta dificultade parece estar relacionada co feito de que os estudantes tendan a considerar a negrura dos produtos da descomposición térmica e a liberación de vapor de auga como indicadores de que a substancia se queimou (Gabel et al., 2001).

Por outra banda, un alumno, Nicolás, estableceu como predición que parte das “ cousas ” que hai no azucre pasan ao estado gasoso, entre elas a auga, quedando unicamente carbono. Esta resposta pódese considerar indicadora de que este alumno está a activar un modelo de transición entre o modelo de modificación e o modelo de reacción

química. Este alumno incorpora a idea de que o azucre se transforma noutras substancias diferentes, neste caso en auga e carbono, o que se corresponde cunha interpretación macroscópica do cambio químico, ao tempo que incorpora ideas comparables ao modelo de modificación de Andersson (1990) ao sinalar que o vapor de auga procede dunha evaporación de substancias xa presentes no azucre. Este alumno non dá a entender coa súa resposta que entenda a molécula de auga como o resultado dunha reorganización de átomos. A resposta deste alumno máis ben suxire que a molécula de auga como tal xa forma parte do azucre, e que ao transferirse enerxía en forma de calor, a auga se transforma en vapor. Porén, na predición deste alumno tamén se contempla a idea de que a sustancia se conservou, habéndose alterado unicamente o estado de agregación.

Ao ter a oportunidade de observar, reflexionar e discutir sobre a posible interpretación do fenómeno, os resultados revelan que os modelos iniciais de arredor da metade dos estudantes que activaron modelos para o cambio químico alternativos ao modelo da ciencia escolar evolucionaron cara modelos de maior nivel de sofisticación (ver Figura 5.51). A observación e a discusión acerca da posible interpretación do fenómeno permitiu que dúas estudantes, que inicialmente describían o proceso en termos de modificación de substancias, pasaran a activar un modelo de transición entre o modelo de modificación e o modelo de reacción química. Estas estudantes, Nerea (EC4-N) e Natalia (EC4-N), incluíron nas súas respostas a idea de que o azucre se transforma noutras substancias diferentes, neste caso en auga e carbono, o que se corresponde cunha interpretación macroscópica do cambio químico, ao tempo que incorporaron ideas comparables ao modelo de modificación de Andersson (1990) ao sinalar que o vapor de auga procede dunha evaporación de substancias xa presentes no azucre. Esta alumnas parecen entender que a molécula de auga como tal xa está presente no azucre, en lugar de ser o resultado dunha reorganización da estrutura atómica. Nicolás, que xa describira inicialmente a descomposición térmica do azucre nestes termos, mantivo esta interpretación trala observación do fenómeno, situándose no mesmo modelo durante toda a intervención.

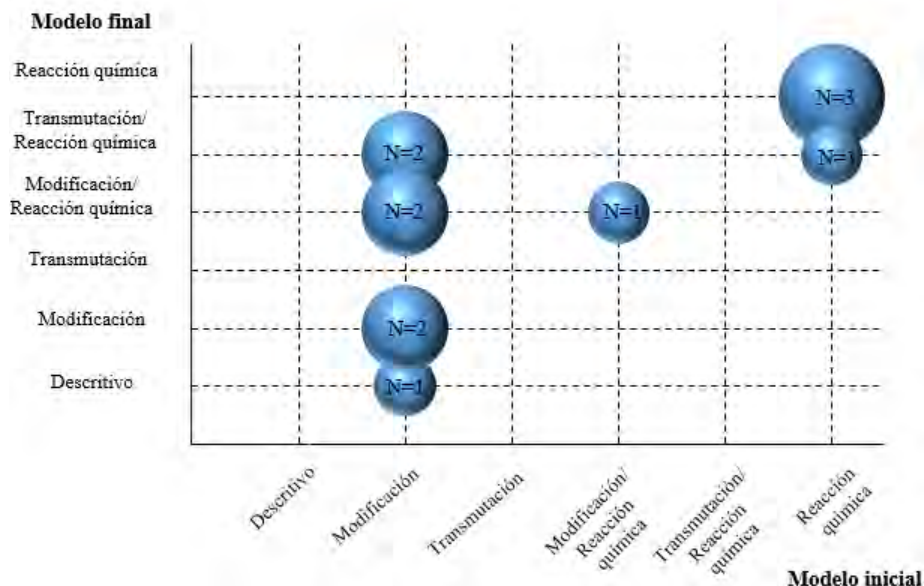


Figura 5.51. Evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) ao interpretar o fenómeno de descomposición térmica do azucre. Cada círculo representa os modelos mentais que activaron os participantes durante a fase de predición (eixe horizontal) e ao final da intervención (eixe vertical). O tamaño dos círculos representa o número de participantes que experimentaron cada cambio

Por outra banda, dúas estudantes que inicialmente interpretaran o fenómeno en termos dunha modificación de substancias remataron empregando un modelo para o cambio químico comparable a un modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química. Estas alumnas, Laura (EC4-L) e Lidia (EC4-L), incluíron na súa resposta final a idea de que o hidróxeno e o osíxeno presentes no azucre se unen para formar auga, quedando unicamente carbono no tubo de ensaio. Esta idea, na que se contempla a idea de conservación de átomos durante unha transformación química de xeito que os produtos conteñen aos reactivos nunha combinación química diferente, é comparable ao modelo de reacción química da ciencia escolar. Non obstante, nas súas respostas tamén incorporaron ideas comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990) ao sinalar que o vapor de auga se converte en fume ou mesmo dióxido de

carbono. Asemade, cómpre sinalar que a progresión desde o modelo inicial de modificación cara este modelo de transición non foi directa, senón que as alumnas foron construíndo ao longo do discurso outros modelos intermedios. Por exemplo, durante o discurso Lidia chegou a situarse nun modelo de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de modificación. Esta alumna chegou a considerar que a molécula de auga como tal xa estaba presente no azucre e que ao transferir enerxía en forma de calor se evaporaba. Esta idea de conservación de substancias resulta comparable ao modelo de modificación. Por outra banda, esta alumna consideraba ao mesmo tempo que a auga evaporada se convertía en fume e dióxido de carbono, unha idea comparable ao modelo de transmutación de Andersson (1990). Outra alumna, Leticia (EC4-L), que inicialmente describira o proceso como unha combustión, despois de observar e discutir a posible interpretación do fenómeno, tamén se situou nun modelo de transición entre o modelo de reacción química e o modelo de transmutación, dando unha resposta semellante ás súas compañeiras de grupo.

Por outra parte, tres estudantes, Mario (EC4-M), Manuel (EC4-M) e Mateo (EC4-M), que xa se activaran inicialmente un modelo para o cambio químico consistente co modelo da ciencia escolar, mantivéronse neste modelo ao longo de toda a intervención e incluso chegaron a activar un esquema de interpretación microscópico. Outras dúas estudantes, Nuria (EC4-N) e Martina (EC4-M) tamén mantiveron a súa descrición inicial durante toda a intervención, malia que estas participantes activaron un modelo para a interpretación dos cambios químicos que distaba en gran medida do modelo da ciencia escolar. Durante toda a intervención, Nuria (EC4-N) deu respostas que podemos considerar indicadoras de que activou en todo momento un modelo de modificación de Andersson (1990). O mesmo aconteceu no caso de Martina (EC4-M), ao sinalar que os átomos distintos aos átomos de carbono se evaporaban. Desde un punto de vista microscópico, o modelo de modificación incorpora a idea de que os átomos e as moléculas sofren os mesmos cambios físicos que as substancias macroscópicas das que forman parte, de aí que acolla

interpretacións nas que os átomos e as moléculas cambian de estado de agregación ou de cor.

A modo de resumo, na Figura 5.51 represéntase graficamente a evolución dos modelos mentais dos participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) ao enfrontarse ao fenómeno de descomposición térmica. Neste tipo de representación reflíctese o modelo inicial de cada estudante (eixe horizontal) e cara que modelo se produce o cambio (eixe vertical).





6 COMPARATIVA DAS INTERPRETACIÓNS ACERCA DE FENÓMENOS NOS QUE A MATERIA SE TRANSFORMA

6.1 INTRODUCCIÓN

Neste capítulo afóndase na análise dos resultados obtidos nos estudos de casos que vertebran esta tese: alumnado do último curso do segundo ciclo da Educación Infantil (EC1), alumnado do sexto curso da Educación Primaria (EC2), alumnado do cuarto curso da Educación Secundaria Obligatoria (EC3) e alumnado do noveno grao do sistema educativo sueco (EC4). Os tres primeiros estudos de casos refírense ao contexto español, mentres que o último estudo de casos, como se indicou anteriormente, aglutina a estudantes pertencentes ao sistema educativo de Suecia.

Este capítulo estrutúrase en catro apartados. No primeiro apartado faise unha breve descrición dos currículos das diferentes etapas do sistema educativo español, comparando o tratamento que outorgan os currículos vixentes aos contidos relativos ao dominio da materia e as súas transformacións co doutros países como Suecia, Estados Unidos ou Nova Zelandia. Faise referencia ao contexto educativo sueco, xa que constitúe o sistema educativo no que están escolarizados os participantes do Estudo de Casos 4 (EC4). Asemade, faise referencia a países como Estados Unidos e a outros anglosaxóns como Nova Zelandia, xa que se trata de territorios cunha dilatada tradición no desenvolvemento de currículos no eido da educación científica baseados na investigación en didáctica de ciencias, que se traducen en importantes reformas educativas e proxectos de ciencias como foron no seu momento o proxecto neocelandés LSP (*Learning in Science*

Project) ou o proxecto estadounidense CEPUP (*Chemical Education for Public Understanding Program*) da Universidade de California (Caamaño, 1994). No segundo apartado concrétanse os obxectivos e preguntas de investigación arredor das cales xira este capítulo. No terceiro apartado establécese unha comparativa entre as explicacións e os modelos que activaron os participantes do sistema educativo español (EC1, EC2 e EC3) ao interpretar cambios químicos cotiáns. No cuarto e último apartado faise unha comparativa entre os modelos que activaron os participantes do sistema educativo español e sueco (EC3 e EC4) para interpretar as transformacións químicas na materia.

6.2 MARCO TEÓRICO

Nesta sección preséntase a fundamentación teórica deste capítulo de maneira máis extensa que a discusión incluída no marco teórico xeral da tese.

6.2.1 Presencia das materias de ciencias no currículo

A *Lei Orgánica 8/2013, de 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa*, define o currículo como “a regulación dos elementos que determinan os procesos de ensino e aprendizaxe para cada unha das ensinanzas” (MECD, 2013, p. 12). Entre os elementos que regula o currículo inclúense os contidos entendidos como aquel “conxunto de coñecementos, habilidades, destrezas e actitudes que contribúen ao logro dos obxectivos de cada ensinanza e etapa educativa, e á adquisición de competencias” (MECD, 2013, p. 12).

A preocupación por conseguir unha cidadanía alfabetizada cientificamente desde idades temperás supuxo un cambio de paradigma no deseño dos currículos da práctica totalidade dos países europeos, os cales intentaron enfocarse nunha perspectiva de “ciencia para todos” (COSCE, 2011). O sistema educativo español experimentou numerosas reformas educativas desde os anos setenta, década en que foi implantada a educación obrigatoria dos seis aos catorce anos mediante a *Lei Xeral de Educación* (LXE), ata o actual sistema educativo no que a escolarización obrigatoria se estende ata os 16 anos de idade. En todos os currículos vixentes desde a promulgación da *Lei Xeral de Educación* (LXE) ata a actual *Lei*

Orgánica para a Mellora da Calidade Educativa (LOMCE), as materias de ciencias foron materias obrigatorias, se ben as características dos contidos ou a súa carga horaria foi mudando ao longo das distintas reformas (COSCE, 2011).

Na *Lei Orgánica 2/2006, de 3 de maio, de Educación* (MEC, 2006), os contidos de ciencias da natureza na Educación Primaria traballábanse de maneira conxunta cos contidos da área de ciencias sociais baixo a denominación de Coñecemento do medio natural, social e cultural. Esta materia non se consideraba pertencente a unha área instrumental básica, a diferenza das matemáticas ou as linguas (COSCE, 2011). En virtude da concreción curricular a nivel autonómico que contemplaba o *Decreto 130/2007, de 28 de xuño, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2007b), ao coñecemento das ciencias correspondíalle un 9% do total de horas lectivas na Educación Primaria (a metade do 18% que supoñía a materia de Coñecemento do medio), de xeito que a representación dos contidos de ciencias no currículo se situaban moi por debaixo do 17% que supoñían as matemáticas ou o 41% que supoñían as linguas, incluída a primeira lingua estranxeira (COSCE, 2011). Na etapa correspondente á Educación Secundaria Obrigatoria (ESO), as materias de ciencias deixaban de ter, coa implantación da *Lei Orgánica de Educación* (LOE), carácter obrigatorio no cuarto curso. Nos cursos en que as materias de ciencias posuían carácter obrigatorio, isto é, desde o primeiro ata o terceiro curso, os contidos de ciencias aglutinaban soamente o 11% do total de horas lectivas. O feito de que as materias de ciencias pasasen a adquirir carácter optativo no último curso da escolarización obrigatoria provocou un descenso no número de horas destinadas ao ensino das ciencias en secundaria con relación a anteriores currículos (COSCE, 2011). Non obstante, como sucedera en reformas educativas anteriores (Jiménez-Aleixandre & Sanmartí, 1995), esta redución horaria non foi acompañada dunha revisión da extensión dos contidos a impartir.

Coa implantación da *Lei Orgánica 8/2013, de 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa* (MECD, 2013) non mellorou a representación no currículo das materias de ciencias. Na Educación

Primaria, a materia de Coñecemento do medio natural, social e cultural desdobrouse en Ciencias da Natureza por unha parte, e Ciencias Sociais por outra (ver Táboa 6.1). Porén, a distribución horaria para cada unha das materias nas que se dividiu a área de coñecemento do medio non foi equitativa. Das 27 horas lectivas que tiña a área de coñecemento do medio en toda a Educación Primaria, 15 horas lectivas foron asignadas á materia de Ciencias Sociais, mentres que á materia de Ciencias da Natureza lle corresponderon unicamente 12 horas lectivas, o que representa un 8% do total de 150 horas lectivas que integran os seis cursos da Educación Primaria.

Pola súa banda, na Educación Secundaria, a entrada en vigor da *Lei para a Mellora da Calidade Educativa* (LOMCE) unicamente supuxo unha variación na denominación das materias vinculadas á área científica, sen supoñer un incremento da dedicación horaria. A concreción autonómica da *Lei para a Mellora da Calidade Educativa* (LOMCE) que contempla o *Decreto 86/2015, de 25 de xuño, polo que se establece o currículo da educación secundaria obrigatoria e do bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2015) implantouse no período académico 2015/16 nos cursos impares e no seguinte período nos cursos pares. A materia de Ciencias da Natureza que se estaba a impartir nos dous primeiros cursos da Educación Secundaria Obrigatoria, cunha dedicación horaria de 4 e 3 horas lectivas para o primeiro e o segundo curso, respectivamente, foi substituída coa implantación da LOMCE pola materia de Bioloxía e Xeoloxía en 1º da ESO, cunha atribución semanal de 4 horas lectivas, e pola materia de Física e Química en 2º da ESO, cunha atribución semanal de 3 horas lectivas.

En 3º da ESO, último curso da escolarización obrigatoria en que as materias de ciencias non posúen carácter optativo, mantense o desdobre xa establecido pola LOE, debendo cursar todo o alumnado as materias de Bioloxía e Xeoloxía e Física e Química, cunha dedicación de 2 horas lectivas cada unha delas do total de 32 horas lectivas semanais. Deste xeito, coa implantación da LOMCE, os contidos de ciencias seguiron aglutinando unicamente o 11% do total de horas lectivas nos tres cursos en que as materias que contribúen ao desenvolvemento da competencia científica posúen carácter

obligatorio, isto é, do primeiro ao terceiro curso da ESO, fronte ao 15% que representan as matemáticas ou o 34% que representan as linguas, incluídas a primeira e a segunda lingua estranxeira.

Táboa 6.1. Comparativa dos currículo LOE e LOMCE con respecto á dedicación horaria das materias de ciencias

	<i>Lei Orgánica de Educación (LOE)</i>	<i>Lei para a Mellora da Calidade Educativa (LOMCE)</i>
	Educación Primaria (25 h/semana cada curso)	
1º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (5 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (3 h)
2º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (4 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (2 h)
3º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (5 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (3 h)
4º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (4 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (2 h)
5º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (5 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (2 h)
6º curso	Coñecemento do medio natural, social e cultural (4 h)	Ciencias da Natureza (2 h)
		Ciencias Sociais (3 h)
	Educación Secundaria (32 h/semana cada curso)	
1º curso	Ciencias da Natureza (4 h)	Bioloxía e Xeoloxía (4 h)
2º curso	Ciencias da Natureza (3 h)	Física e Química (3 h)
3º curso	Física e Química (2 h)	Física e Química (2 h)
	Bioloxía e Xeoloxía (2 h)	Bioloxía e Xeoloxía (2 h)
4º curso	Física e Química (3 h) (materia troncal de opción) Bioloxía e Xeoloxía (3 h) (materia troncal de opción)	Académicas: Bioloxía e Xeoloxía (3 h) (materia troncal de opción) Física e Química (3 h) (materia troncal de opción)
		Aplicadas: Ciencias Aplicadas á Actividade Profesional (3 h) (materia troncal de opción)
		Ambos itinerarios: Cultura científica (3 h) (materia específica)

No cuarto curso da ESO a LOMCE incorpora como novidade a escolla de dous itinerarios: a opción de ensinanzas académicas,

pensada para aquel alumnado que pretende cursar o Bacharelato, e a opción de ensinanzas aplicadas, pensada para encamiñar ao alumnado cara a formación profesional. Tanto o currículo do itinerario de ensinanzas académicas como o de ensinanzas aplicadas incorporan materias de ciencias pero como xa se comentou, todas elas posúen carácter optativo. O itinerario de ensinanzas académicas inclúe como materias optativas Bioloxía e Xeoloxía e Física e Química, cada unha delas cunha carga de 3 horas lectivas. O itinerario de ensinanzas académicas incorpora como materia optativa Ciencias Aplicadas á Actividade Profesional, cunha carga de 3 horas lectivas. Aparte das materias troncais xerais e troncais de opción, en cada un dos itinerarios os estudantes deben elixir dúas materias específicas dun amplo conxunto, entre as que se oferta a materia denominada Cultura Científica cunha dedicación de 3 horas lectivas.

En Europa, o tempo dedicado a cada materia tamén presenta importantes variacións duns países a outros. A Táboa 6.2 reflicte o número de horas de instrución por materia no ano 2019 como porcentaxe do tempo total de instrución obrigatoria para o alumnado de Educación Secundaria en diferentes países da Unión Europea (UE) e Galicia. Como se observa na Táboa 6.2, na etapa de Educación Secundaria en Galicia dedícase un 9% do total de horas lectivas aos contidos de ciencias (11 horas de ciencia obrigatorias das 128 horas que conforman os catro cursos da Educación Secundaria Obrigatoria), unha porcentaxe lixeiramente inferior á media dos países da OCDE, que se sitúa nun 12%. Entre os países que máis tempo dedican ao ensino de ciencias atópanse Finlandia (16%) e Grecia (13%) (González, 2019).

Centrándonos na natureza do currículo e continuando coa comparativa europea, a maioría dos currículos europeos, entre os que se inclúe o currículo español, baséanse no ensino dunha ciencia en contexto (COSCE, 2011). Deste xeito, a maioría dos currículos europeos contemplan a inclusión de actividades que impliquen a formulación de preguntas, o traballo experimental ou a discusión sobre problemas contextualizados (COSCE, 2011). Non obstante, hai xa un par de décadas, no traballo de autores como de Pro (1999) acerca dos principios metodolóxicos que na práctica imperaban nas

aulas de ciencias en España, apuntábase que predominaban as actividades onde a información fluía de xeito unidireccional do profesor/a aos estudantes dándose pouca cabida á discusión e ao deseño de investigacións para dar resposta a un problema, e na actualidade parece que a situación dista pouco desta realidade.

Táboa 6.2. Número de horas de instrución por materia (2019) como porcentaxe do tempo total de instrución obrigatoria para o alumnado de educación secundaria (elaboración propia, a partir de, González, 2019)

	Lingua e Literatura (excluídas as linguas estranxeiras)	Matemáticas	Ciencias
<i>Galicia</i>	20%	14%	9%
<i>Media OCDE</i>	15%	13%	12%
Outros países da UE:			
<i>Francia</i>	17%	14%	12%
<i>Grecia</i>	25%	12%	13%
<i>Alemaña</i>	13%	13%	11%
<i>Finlandia</i>	12%	13%	16%
<i>Suecia</i>	12%	12%	11%
<i>Noruega</i>	15%	12%	9%

Despois desta panorámica xeral, nos sucesivos apartados deste capítulo descríbese máis a fondo o tratamento que reciben os contidos de ciencias relativos ao concepto de materia e as súas transformacións no currículo español, e no currículo doutros países como Suecia, Nova Zelandia ou Estados Unidos. En concreto, a discusión do currículo en España xira arredor do contexto galego, marco no que se desenvolveron a meirande parte dos estudos de casos que vertebran esta tese (EC1, EC2, EC3).

6.2.2 Tratamento das transformacións na materia no currículo galego

A escolarización obrigatoria ou educación básica en Galicia, ao igual que no resto de España, comprende as etapas de Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria, que abranguen dos 6 aos 16 anos. A partir desta idade mínima, os estudantes poden optar por incorporarse ao mundo laboral ou ben por continuar estudos post-obrigatorios, xa sexa cursando o Bacharelato ou a Formación Profesional. Os currículos da Educación Primaria e da Educación

Secundaria Obrigatoria están regulados actualmente pola *Lei Orgánica 8/2013, de 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa* (LOMCE) (MECD, 2013), mentres que para o currículo de Educación Infantil segue vixente o disposto na *Lei Orgánica 2/2006, de 3 de maio, de Educación* (LOE) (MEC, 2006).

6.2.2.1 Etapa de Educación Infantil

A Educación Infantil posúe carácter voluntario e ten como finalidade un desenvolvemento integral e harmónico dos nenos e as nenas nos planos físico, afectivo, social, motor, emocional e cognitivo (Xunta de Galicia, 2009). Esta etapa educativa estrutúrase en dous ciclos de tres cursos cada un deles: dos 0 aos 3 anos, e dos 3 aos 6 anos. En virtude da *Lei Orgánica 2/2006, de 3 de maio, de Educación*, a administración educativa galega concretou o currículo do primeiro e o segundo ciclo da Educación Infantil mediante a promulgación do *Decreto 330/2009, de 4 de xuño, polo que se establece o currículo da educación infantil na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2009).

O citado decreto establece que os contidos educativos da Educación Infantil se organizan en tres áreas de coñecemento: (1) coñecemento de si mesmo e autonomía persoal; (2) coñecemento do contorno; e (3) linguaxes: comunicación e representación. A área de coñecemento do contorno pretende encamiñar aos nenos cara o descubrimento e a construción de coñecemento sobre o medio físico e natural que configura a súa realidade desde unha perspectiva lúdica e global que desenvolva, así mesmo, o interese e a curiosidade (Xunta de Galicia, 2009).

Os contidos da área de coñecemento do contorno, ámbito desde o que se contempla a introdución de ciencias na etapa de Educación Infantil, desagregáanse en tres bloques. O Bloque 1 denominado “Medio físico: Elementos, relacións e medida” comprende, entre outros aspectos, a exploración e experimentación con diversos obxectos e materiais da contorna dos nenos para que coñezan as súas características morfolóxicas e funcionais, ao tempo que se inician no pensamento lóxico-matemático procedente das diferentes accións que se desenvolven con estes obxectos como a ordenación, a comparación

ou o agrupamento. O Bloque 2 denominado “Achegamento á natureza” supón iniciar aos nenos no coñecemento dos seres vivos, os fenómenos naturais, e as organizacións e características dos grupos humanos. O Bloque 3 denominado “Cultura e vida en sociedade” persegue que os nenos sexan partícipes da construción de vínculos e relacións interpersoais fóra do ámbito familiar co fin de sentar as bases para unha futura inmersión na sociedade.

Con relación ao tratamento que o currículo fai do concepto de materia na Educación Infantil, obsérvase que no segundo ciclo (dos 3 aos 6 anos) se fai referencia a unha aproximación aos tres estados de agregación da materia a través do descubrimento das diferentes formas nas que a auga se atopa na natureza. Durante a etapa da Educación Infantil tamén se contemplan algúns contidos vinculados co desenvolvemento de destrezas propias do traballo científico como a formulación ou o contraste de hipóteses. Na Táboa 6.3 faise unha compilación daqueles contidos vinculados ao dominio da materia e as súas transformacións que contempla o currículo da Educación Infantil, así como aqueles contidos transversais que contribúen ao desenvolvemento das diferentes dimensións da competencia científica.

Dado que unha das metas prioritarias da educación básica ha de ser a alfabetización de todas as persoas, algúns autores como García-Carmona et al. (2014a) fixeron unha valoración da regulación española de ensinanzas mínimas para a etapa de 3 a 6 anos para coñecer en que medida o currículo español favorece ou obstaculiza a promoción dunha alfabetización científica desde a primeira infancia. Estes autores sinalan que o currículo español para a Educación Infantil inclúe entre os seus obxectivos o desenvolvemento de destrezas básicas necesarias para unha alfabetización científica inicial. Sen embargo, García-Carmona et al. (2014a) detectaron algúns aspectos que non son tidos en conta, ou son atendidos de forma pouco adecuada. Por exemplo, estes autores botan en falta que non se dea ningunha orientación acerca da progresión coa que se han de introducir os contidos ao longo da Educación Infantil de cara a que o profesorado conte cun referente metodolóxico que guíe a súa enseñanza, e tamén critican que non se faga o suficiente énfase en ter

en conta as ideas e as experiencias previas dos escolares como punto de partida para organizar o proceso de ensino-aprendizaxe.

Táboa 6.3. Contidos que incorpora o currículo da Educación Infantil en Galicia relacionados co concepto de materia e co desenvolvemento de destrezas vinculadas á competencia científica (elaboración propia, a partir de, Xunta de Galicia, 2009)

Área de coñecemento do contorno
<i>Primeiro ciclo da Educación Infantil (0 a 3 anos)</i>
<i>Bloque 1. Medio físico: Elementos, relacións e medida</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Exploración de obxectos e materiais diversos a través dos sentidos e de diferentes accións. • Identificación, denominación e comparación de calidades sensoriais, características morfolóxicas e funcionais de obxectos e materiais do seu medio. • Experimentación de diferentes accións sobre os obxectos e materiais.
<i>Bloque 2. Achegamento á natureza</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Coñecementos diversos sobre os fenómenos naturais.
<i>Segundo ciclo da Educación Infantil (3 a 6 anos)</i>
<i>Bloque 1. Medio físico: Elementos, relacións e medida</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Recoñecemento dalgúns atributos e propiedades de obxectos e de materiais, examinando con atención as súas características e a súa aplicación na vida diaria. • Interese pola clasificación de obxectos e de materiais e aproximación á cuantificación de coleccións. • Investigación do comportamento físico de diferentes materiais e obxectos, en diferentes situacións e con variadas accións.
<i>Bloque 2. Achegamento á natureza</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimento das diferentes formas en que se encontra a auga na natureza, comprendendo a súa contribución ao desenvolvemento dos seres vivos e do medio, valorando a necesidade da súa conservación e de facer un uso responsable dela. • Formulación de hipóteses, contrastándooas coas das outras persoas, buscando respostas e explicacións sobre as causas e consecuencias de fenómenos do medio natural -calor, choiva, vento, día, noite, erosión, ciclo vital...- e dos producidos pola acción humana -pontes, encoros, aeroxeradores, muíños de auga...-.
<i>Bloque 3. Cultura e vida en sociedade</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración co resto de compañeiros e compañeiras na vida da aula, amosando disposición para compartir e resolver conflitos.

A esta falta de concreción curricular no que respecta ao deseño de intervencións e de ambientes de aprendizaxe apropiados para a introdución das ciencias na Educación Infantil, únese a percepción que os mestres e futuros mestres teñen sobre as capacidades dos nenos

para aprender e, sobre todo, a competencia dos mestres para abordar a interpretación de fenómenos cotiáns desde os conceptos e ideas da ciencia. En relación a isto, foron publicados varios estudos (e. g. Appleton, 2006; Cantó, de Pro & Solbes, 2016; Fler, 2009) nos que se examina o ensino e a aprendizaxe de ciencias na Educación Infantil de cara a valorar en que medida as actitudes e crenzas dos mestres afectan ao deseño e á implementación de actividades de ciencias neste nivel educativo. En Australia Appleton (2006) e Fler (2009) observaron que os futuros mestres da primeira infancia se senten pouco competentes en ciencias, e que este baixo nivel de coñecemento en ciencias constitúe un obstáculo para o seu ensino efectivo. Fler (2009) sinala que lles resulta complexo modificar e adaptar actividades para nenos destas idades cando dos mestres se espera que sexan quen de manexar o coñecemento de contido necesario para interpretar fenómenos cotiáns, e crear experiencias de aprendizaxe onde poidan suceder cambios cualitativos e axuden aos nenos a construír referentes empíricos básicos. Os resultados do traballo de Pendergast, Lieberman-Betz e Vail (2017) en EEUU, no que estudaron as actitudes e crenzas cara a ciencia na educación infantil de 122 mestres de preescolar, parecen indicar que os mestres entenden os beneficios da ciencia para o desenvolvemento global dos nenos pequenos. Con todo, sinalan que os mestres continúan sentíndose pouco preparados en temas de ciencias e como consecuencia, senten que teñen pouca competencia para apoiar de forma adecuada a aprendizaxe científica dos máis pequenos (Pendergast et al., 2017).

Seguindo esta liña, no noso país, Cantó et al. (2016) estudaron a percepción dos futuros mestres sobre o ensino das ciencias nas aulas de infantil de segundo ciclo (3 a 6 anos). Segundo os resultados deste estudo, as ciencias non teñen unha presenza intencionada nas aulas de infantil a pesar da súa presenza no currículo. Ademais, observouse que existe un predominio de actividades baseadas no cumprimentado de fichas, e que os mestres parecen evitar a implementación de actividades de argumentación ou indagación que permiten aproveitar a curiosidade innata dos nenos, as súas ganas de saber, o seu entusiasmo e a súa capacidade de concentración cando se enfrontan a retos. Estes autores tamén consideran a falta de preparación do profesorado como

unha das causas desta situación, e engaden que outros factores que inflúen son a falta de tradición na área de didáctica das ciencias experimentais e os prexuízos arredor das posibilidades dos escolares de infantil.

6.2.2.2 Etapa de Educación Primaria

A primeira etapa da escolarización obrigatoria en España é a Educación Primaria. Trátase dunha etapa que abrangue dos seis aos doce anos, e comprende seis cursos académicos.

En virtude da *Lei Orgánica 8/2013, de 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa*, a administración educativa galega concretou o currículo deste nivel mediante a promulgación do *Decreto 105/2014, de 4 de setembro, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2014). En virtude do citado decreto de currículo, as disciplinas que integran este nivel educativo agrúpanse en tres bloques: troncais, específicas e de libre configuración autonómica. Dentro do bloque de disciplinas troncais, que son aquelas que os escolares deben cursar de xeito obrigatorio en cada un dos cursos, figura a materia de Ciencias da Natureza. En cada un dos seis cursos que integran esta etapa educativa, a materia de Ciencias da Natureza conta cunha atribución de 2 horas lectivas dun total de 25 horas semanais. A integración desta materia no currículo persegue fornecer aos estudantes dunha formación en ciencias que permita desenvolver as competencias necesarias para entender e interactuar co seu medio natural. Como se sinala no decreto de currículo, desde esta área de coñecemento non se ha de contribuír unicamente á adquisición de conceptos científicos, senón que tamén se debe lograr incorporar o valor funcional da ciencia para que os escolares estean en disposición de explicar fenómenos naturais da vida diaria. Asemade, esta área ha de perseguir que o alumnado desenvolva un pensamento crítico, iniciándose na argumentación e no debate de ideas (Xunta de Galicia, 2014).

Os contidos da área de Ciencias da Natureza están organizados en cinco bloques de contidos. Non obstante, malia esta fragmentación dos contidos en distintos bloques, o decreto de currículo recolle de

xeito explícito que estes han de ser traballados de xeito integrado (Xunta de Galicia, 2014). O Bloque 1 denominado “Iniciación á actividade científica” persegue o desenvolvemento de habilidades e destrezas relacionadas coa competencia científica como o deseño de investigacións para dar resposta a un problema. O Bloque 2 denominado “O ser humano e a saúde” busca afondar no coñecemento do propio corpo e das interaccións co medio e con outros individuos. O Bloque 3 denominado “Os seres vivos” persegue promover o coñecemento acerca das plantas e os animais, así como o respecto polo entorno e o interese por conservar a biodiversidade. O Bloque 4 denominado “Materia e enerxía” incorpora contidos relacionados coas propiedades da materia e as formas de enerxía, e a familiarización do alumnado coa interpretación de fenómenos naturais sinxelos e coas consecuencias que ten sobre o ambiente a produción e uso da enerxía. O Bloque 5 denominado “A tecnoloxía, aparellos e máquinas” ten como finalidade introducir ao alumnado no funcionamento de aparellos e máquinas de uso diario (Xunta de Galicia, 2014).

Na Táboa 6.4 faise un resumo daqueles contidos vinculados ao dominio conceptual da materia e a súas transformacións que o currículo da Educación Primaria contempla para os distintos cursos. Tamén se reflicten os contidos transversais que contribúen ao desenvolvemento da competencia científica entre os escolares.

Mediante a análise dos contidos recollidos no cuarto bloque, obsérvase que no primeiro curso desta etapa educativa (6 a 7 anos) se incorpora unha aproximación macroscópica ás propiedades físicas da materia a través da exploración dunha serie de características observables en obxectos e materiais presentes na contorna dos nenos como a cor, a dureza, a textura, e outras propiedades organolépticas como o olor ou o sabor. No segundo curso (7 a 8 anos) incorpórase como contido o recoñecemento da auga e do aire no medio físico. Dado a pouca concreción deste contido respecto ao que os estudantes han de aprender, revisáronse os estándares de aprendizaxe asociados ao mesmo. Os estándares de aprendizaxe son aqueles elementos curriculares que permiten definir os resultados de aprendizaxe esperados e que concretan o que os estudantes han de saber, comprender e facer en cada disciplina (Xunta de Galicia, 2014). Os

estándares de aprendizaxe asociados a este contido fan referencia á consideración da auga e do aire como recursos fundamentais para a vida e a promoción entre os escolares dun uso responsable da auga.

Táboa 6.4. Contidos que incorpora o currículo da Educación Primaria en Galicia relacionados co concepto de materia e co desenvolvemento de destrezas vinculadas á competencia científica (elaboración propia, a partir de, Xunta de Galicia, 2014)

Área de Ciencias da Natureza
1º curso da Educación Primaria (6 a 7 anos)
Bloque 1. Iniciación á actividade científica
<ul style="list-style-type: none"> Realización de proxectos con guía na súa estrutura e presentación de resultados.
Bloque 4. Materia e enerxía
<ul style="list-style-type: none"> Exploración de materiais e obxectos do contorno para identificar propiedades físicas observables (cor, dureza, cheiro, sabor e textura) e a súa utilidade.
2º curso da Educación Primaria (7 a 8 anos)
Bloque 1. Iniciación á actividade científica
<ul style="list-style-type: none"> Realización de proxectos con guía na súa estrutura e presentación de resultados.
Bloque 4. Materia e enerxía
<ul style="list-style-type: none"> Recoñecemento da presenza de auga e do aire no medio físico.
3º curso da Educación Primaria (8 a 9 anos)
Bloque 1. Iniciación á actividade científica
<ul style="list-style-type: none"> Realización de proxectos e presentación de resultados.
Bloque 4. Materia e enerxía
<ul style="list-style-type: none"> Cambios de estado da auga. O ciclo da auga. Identificación de compoñentes e preparación dunha mestura.
4º curso da Educación Primaria (9 a 10 anos)
Bloque 1. Iniciación á actividade científica
<ul style="list-style-type: none"> Realización de proxectos, pequenas investigacións e presentación de resultados.
Bloque 4. Materia e enerxía
<ul style="list-style-type: none"> Características e propiedades do aire. Realización de experiencias con mesturas. Identificación de compoñentes e preparación dunha mestura. Procedementos de separación.
5º curso da Educación Primaria (10 a 11 anos)
Bloque 1. Iniciación á actividade científica
<ul style="list-style-type: none"> Aproximación experimental a cuestións científicas próximas á súa realidade. Planificación e realización de proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións, formulando problemas, enunciando hipóteses, seleccionando o material necesario, montando, realizando e extraendo conclusións.

Bloque 4. Materia e enerxía

- Comparación e clasificación dos materiais segundo as propiedades físicas observables: dureza, solubilidade, estado de agregación e condutividade térmica. Explicación de fenómenos físicos observables en termos de diferenzas de densidade.
- Realización de experiencias sinxelas sobre reaccións químicas habituais na vida cotiá e doméstica: a combustión, a oxidación e a fermentación.

6º curso da Educación Primaria (11 a 12 anos)

Bloque 1. Iniciación á actividade científica

- Aproximación experimental a cuestións científicas próximas á súa realidade.
- Planificación e realización de proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións, formulando problemas, enunciando hipóteses, seleccionando o material necesario, montando, realizando e extraendo conclusións.

Bloque 4. Materia e enerxía

- Os cambios de estado. As reaccións químicas: A combustión, a oxidación e a fermentación.
 - Separación de compoñentes dunha mestura mediante destilación, filtración, evaporación ou disolución.
-

Como se observa na Táboa 6.4, non se contemplan contidos relacionados coas transformacións da materia ata o terceiro curso da Educación Primaria (8 a 9 anos). Neste curso menciónase a identificación dos compoñentes dunha mestura e faise referencia por primeira vez neste nivel educativo a que os escolares han de ser quen de recoñecer e explicar os cambios de estado da auga que se producen en fenómenos naturais e situacións da vida diaria. Os cambios de estado non se volven abordar ata o sexto curso (11 a 12 anos), momento no que se fai referencia a que os nenos han de ser quen de identificar, experimentar e exemplificar argumentado algúns cambios de estado e a súa reversibilidade (Xunta de Galicia, 2014).

No cuarto curso (9 a 10 anos) proséguese co estudo das mesturas incorporándose como contidos a identificación e separación dos compoñentes dunha mestura, e preparación de mesturas de uso doméstico (Xunta de Galicia, 2014).

Como se observa na Táboa 6.4, os contidos relativos aos cambios químicos non se incorporan ata os dous últimos cursos deste nivel educativo. Tanto no quinto como no sexto curso propónse a realización de experiencias sinxelas sobre reaccións químicas habituais na vida diaria (combustión, oxidación e fermentación), sen

facer referencia explícita a unha introdución previa da idea de reacción química como aquela transformación da materia na que unha ou varias substancias iniciais se transforman noutra ou noutras substancias diferentes (Xunta de Galicia, 2014). Por outra banda, no currículo de Educación Primaria en ningún momento se contempla unha aproximación á natureza corpuscular da materia, unha ferramenta indispensable para comprender e poder interpretar os cambios na materia.

En relación ao primeiro bloque de contidos vinculado á actividade científica, a realización de actividades de indagación nas que o alumnado ha de formular preguntas, enunciado hipóteses, deseñar investigacións, extraer conclusións e comunicar resultados non se contemplan ata o quinto e o sexto curso desta etapa educativa. Nos catro primeiros cursos soamente se alude a unha adquisición de autonomía por parte dos escolares durante a observación, a planificación e a execución de tarefas (Xunta de Galicia, 2014).

Aparte do currículo, outro elemento decisivo na aprendizaxe dos estudantes é a figura do profesorado (Mellado, Blanco e Ruiz, 1998), de aí que a formación dos mestres de Educación Primaria en ciencias e didáctica de ciencias fose obxecto de estudo desde os últimos anos (e. g. Cañal, 2000; García-Carmona, Cruz-Guzmán & Criado, 2014b). Como sinala Cañal (2000), entre os futuros mestres de primaria adoce unha formación científica de base, xa que a maioría ingresan nas facultades de educación para realizar o grao de Mestre en Educación Primaria sen haber cursado materias de ciencias desde os quince anos. Esta insuficiente formación científica non se compensa ao cursar a correspondente titulación universitaria, xa que a presenza das materias relacionadas coas ciencias ou co ensino das ciencias adoita ser pouco significativa (Cañal, 2000). A formación dos futuros mestres de primaria segue sendo demasiado xeral no sentido de que “han de saber de todo un pouco” como xa apuntaban Martínez-Losada, García-Barros, Vega e Mondelo (1999) no seu momento, o que se traduce nunha adquisición moi superficial dos contidos dalgunhas materias a impartir.

Todo isto leva aparelado que a maioría dos mestres teñan un baixo nivel de coñecementos científicos, de maneira que evitan o

ensino daqueles contidos que non dominan o suficientemente ben, sintan inseguridade e unha falta de confianza en si mesmos para o ensino das ciencias, amosen unha gran dependencia dos libros de texto obviando as metodoloxías de ensino centradas no alumno, e incluso posúan ideas e modelos alternativos aos modelos da ciencia escolar que reforzan as ideas alternativas do propio alumnado no canto de inducir cambios significativos na forma de pensar e de razoar dos estudantes (García-Carmona et al., 2014b; Mellado et al., 1998).

6.2.2.3 Etapa de Educación Secundaria Obrigatoria

A segunda etapa da escolarización obrigatoria en España é a Educación Secundaria Obrigatoria (ESO). Trátase dunha etapa que abrangue dos 12 aos 16 anos, e comprende catro cursos académicos. Na Comunidade Autónoma de Galicia impártese de xeito gratuíto nos institutos de ensino secundario (IES) e nos centros públicos integrados (CPI) dependentes da Consellería de Educación e Ordenación Universitaria. Aqueles estudantes que acadan unha avaliación positiva ao remate deste nivel obteñen o título de graduado en educación secundaria que permite o acceso ao Bacharelato ou a unha Formación Profesional de grao medio.

En virtude da *Lei Orgánica 8/2013, de 9 de decembro, para a Mellora da Calidade Educativa*, a administración educativa galega concretou o currículo deste nivel mediante a promulgación do *Decreto 86/2015, de 25 de xuño, polo que se establece o currículo da educación secundaria obrigatoria e do bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2015). O citado decreto establece que a Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) se estrutura en dous ciclos, o primeiro ciclo con tres curso escolares (1º a 3º da ESO), e o segundo ciclo con un (4º da ESO). Os contidos de ciencias intégranse no currículo a través das materias de Física e Química e Bioloxía e Xeoloxía. No primeiro ciclo estas materias posúen carácter obrigatorio, mentres que no último curso pasan a ser materias troncais de opción, de maneira que son os estudantes os que deciden se desexan cursalas ou non. A materia de Bioloxía e Xeoloxía impártese de xeito obrigatorio en 1º e 3º da ESO, cunha dedicación semanal de 4 e 2 horas lectivas, respectivamente. A materia de Física e Química

impártese de xeito obrigatorio en 2º e 3º da ESO, cunha dedicación semanal de 3 e 2 horas lectivas, respectivamente. En 4º da ESO unicamente aqueles estudantes que elixan a modalidade de ciencias dentro do itinerario de ensinanzas académicas cursarán estas dúas materias cunha dedicación de 3 horas lectivas semanais cada unha delas.

Os contidos vinculados ao dominio conceptual da materia son traballados na Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) a través da materia de Física e Química. Entre os obxectivos desta materia figura capacitar ao alumnado para extraer e comunicar conclusións en virtude das probas dispoñibles, formular preguntas e explicar de xeito científico fenómenos físicos e naturais (Xunta de Galicia, 2015). Os contidos desta materia desagreganse en cinco bloques de contidos. O Bloque 1 denominado “A actividade científica” persegue desenvolver no alumnado habilidades e destrezas inherentes ao traballo científico. O Bloque 2 denominado “A materia” achega aos estudantes ao coñecemento da estrutura e as propiedades da materia. O Bloque 3 denominado “Os cambios” comprende as transformacións da materia que son introducidas desde un enfoque macroscópico que vai progresando de xeito secuencial cara un esquema de interpretación microscópico coa introdución da natureza corpuscular da materia. O Bloque 4 denominado “O movemento e as forzas” comprende o estudo do movemento dos corpos no espazo e o estudo das forzas como aquelas causas que provocan cambios no estado físico ou no estado de movemento dos corpos. O Bloque 5 denominado “A enerxía” comprende, como o seu propio nome indica, o estudo daqueles conceptos vinculados ao dominio da enerxía, incluída a promoción de hábitos relacionados co consumo responsable da enerxía e o tratamento das consecuencias que ten sobre o medio a produción e uso dos diferentes tipos de enerxía (Xunta de Galicia, 2015).

A Táboa 6.5 recolle un resumo dos contidos e criterios de avaliación directamente relacionados coas transformacións da materia, e co desenvolvemento de destrezas e habilidades inherentes ao traballo científico. En virtude do *Decreto 86/2015, de 25 de xuño*, os criterios de avaliación describen aquilo que os estudantes han de acadar tanto

en termos de coñecementos como en termos de competencias (Xunta de Galicia, 2015).

En 2º da ESO establécese unha aproximación ao modelo cinético-molecular no estudo dos cambios físicos. En concreto, o currículo deste curso establece que os estudantes han de ser quen de xustificar as propiedades dos estados de agregación da materia e os cambios de estado a través da teoría cinético-molecular. Este modelo ou teoría permite explicar as propiedades dos sólidos, líquido e gases, e os cambios de estado, asumindo que a materia está constituída por partículas ou corpúsculos de tamaño microscópico que se atopan en constante movemento e entre as que existen forzas de cohesión de diferente intensidade segundo o estado da materia (Caamaño, 2019). En cambio, en relación aos cambios químicos, o currículo de 2º da ESO establece que os estudantes han de describir a reacción química como a transformación dunhas substancias noutras, o que supón un achegamento puramente macroscópico ao concepto de cambio químico.

Non é ata 3º da ESO cando se incorpora o modelo atómico-molecular e a teoría de colisións como ferramentas de interpretación dos cambios químicos. Neste curso faise referencia a que o alumnado ha de comprender que algúns átomos tenden a agruparse para formar estruturas máis complexas (moléculas ou estruturas cristalinas). Tamén se indica que o alumnado ha de describir as reaccións químicas en termos de reorganización de partículas. O modelo atómico-molecular permite interpretar o comportamento químico das substancias asumindo a existencia de substancias elementais, formadas por átomos idénticos, e de compostos, formados pola agrupación de átomos pertencentes a distintos elementos (Caamaño, 2019), de maneira que nunha reacción química se produce a reorganización dos átomos que integran as substancias para formar outras substancias distintas das iniciais.

Táboa 6.5. Contidos e criterios de avaliación que incorpora o currículo da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) en Galicia relacionados co concepto de materia e co desenvolvemento de destrezas vinculadas á competencia científica (elaboración propia, a partir de, Xunta de Galicia, 2015)

Materia de Física e Química	
2º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) (Troncal xeral)	
Bloque 1. A actividade científica	
Método científico: Etapas.	Recoñecer e identificar as características do método científico. Desenvolver pequenos traballos de investigación nos que se poña en práctica a aplicación do método científico.
Bloque 2. A materia	
Estados de agregación. Cambios de estado. Modelo cinético-molecular.	Xustificar as propiedades dos estados de agregación da materia e os seus cambios de estado a través do modelo cinético-molecular.
Bloque 3. Os cambios	
Cambios físicos e cambios químicos.	Distinguir entre cambios físicos e químicos mediante a realización de experiencias sinxelas que poñan de manifesto se se forman ou non novas substancias.
Reacción química.	Caracterizar as reaccións químicas como cambios dunhas substancias noutras.
3º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) (Troncal xeral)	
Bloque 1. A actividade científica	
Método científico: Etapas.	Recoñecer e identificar as características do método científico. Desenvolver pequenos traballos de investigación nos que se poña en práctica a aplicación do método científico.
Bloque 2. A materia	
Unións entre átomos: Moléculas e cristais.	Describir como se unen os átomos para formar estruturas máis complexas e explicar as propiedades das agrupacións resultantes.
Estrutura atómica: Modelos atómicos.	Recoñecer que os modelos atómicos son instrumentos interpretativos de diferentes teorías e a necesidade da súa utilización para a interpretación e a comprensión da estrutura interna da materia.
Bloque 3. Os cambios	
Reacción química.	Describir a nivel molecular o proceso polo que os reactivos se transforman en produtos, en termos da teoría de colisións.
Lei de conservación da masa.	Deducir a lei de conservación da masa e recoñecer reactivos e produtos a través de experiencias sinxelas no laboratorio ou de simulacións.
Velocidade de reacción.	Comprobar a influencia de determinados factores na velocidade das reaccións químicas.

4º curso da Educación Secundaria Obrigatoria (ESO) (Troncal de opción)	
Bloque 1. A actividade científica	
Investigación científica.	Analizar o proceso que segue unha hipótese desde que se formula ata que é aprobada pola comunidade científica. Recoñecer que a investigación en ciencia é unha labor colectiva e interdisciplinaria en constante evolución. Realizar tarefas propias da investigación científica.
Bloque 2. A materia	
Enlace químico: iónico, covalente e metálico.	Xustificar as propiedades dunha sustancia a partir da natureza do seu enlace químico.
Forzas intermoleculares.	Recoñecer a influencia das forzas intermoleculares no estado de agregación e nas propiedades de sustancias de interese.
Bloque 3. Os cambios	
Reaccións e ecuacións químicas.	Explicar o mecanismo dunha reacción química e deducir a lei de conservación da masa a partir da reorganización atómica que ten lugar.
Reaccións de especial interese.	Realizar experiencias no laboratorio nas que teñan lugar reaccións de síntese, combustión e neutralización interpretando o observado.
Mecanismo, velocidade e enerxía das reaccións.	Razoar como se altera a velocidade dunha reacción ao modificar algún dos factores que inflúen sobre ela, utilizando o modelo cinético-molecular e a teoría de colisións para xustificar esta predición.

Por outra banda, en 4º da ESO, aparte de traballarse as ideas unificadoras da ciencia escolar que permiten explicar as transformacións que sofre a materia en fenómenos da vida diaria, tamén se incorpora o estudo doutros conceptos máis sofisticados como os factores que afectan á velocidade dun cambio químico, a distinción entre reaccións químicas endotérmicas e exotérmicas, e as propiedades das sustancias en función da natureza do seu enlace químico (covalente, metálico ou iónico) e das forzas intermoleculares que se establecen.

6.2.3 Tratamento das transformacións na materia no currículo sueco

O sistema educativo en Suecia estrutúrase en diferentes niveis. O primeiro nivel denominado *förskola* vai dirixido aos nenos e nenas de un a cinco anos e equivale á Educación Infantil en España. Baséase na importancia do xogo no desenvolvemento e na aprendizaxe dos nenos,

e está pensado para facilitar a conciliación familiar. O financiamento municipal para este nivel depende da idade dos escolares, e da situación laboral dos proxenitores, chegando a ser totalmente gratuíta para as familias con menos recursos (Swedish Institute, 2015).

Dos seis aos sete anos de idade, todos os nenos teñen garantida unha praza no que se coñece como *förskoleklass*. Trátase dun curso preparatorio que actúa como unha fase de transición entre as escolas de preescolar e a escolarización obrigatoria (Swedish Institute, 2015).

A escolarización obrigatoria en Suecia coñecida como *Grundskola* abrangue dos sete aos 16 anos e estrutúrase en tres etapas cunha duración de tres cursos académicos cada unha. A primeira etapa, denominada *lågstadiet*, comprende os tres primeiros cursos (*Year 1-3*), o segundo ciclo, denominado *mellanstadiet*, abrangue do cuarto ao sexto curso (*Year 4-6*), e o terceiro ciclo, denominado *högstadiet*, comprende do sétimo ao noveno curso (*Year 7-9*). Unha vez superado o último curso da escolarización obrigatoria, os estudantes poden acceder a un nivel post-obrigatorio coñecido como *Gymnasium*. Neste nivel os estudantes deben elixir cursar un dos 18 programas nacionais de tres anos de duración que se ofertan, dos cales tres son preparatorios para a universidade, e os restantes perseguen unha especialización nunha determinada familia profesional para incorporarse ao mundo laboral (Swedish Institute, 2015).

En resposta a unha necesidade de mellorar o rendemento dos estudantes nas áreas de lingua, matemáticas e ciencias, en xullo de 2011 entrou en vigor en Suecia un novo currículo. Entre outros aspectos, este currículo establece que ao remate de cada unha etapas nas que se estrutura a escolarización obrigatoria en Suecia, os estudantes han de realizar unhas probas nacionais nas que se avalía o seu desempeño co fin de identificar necesidades individuais de aprendizaxe e, no noveno curso, establecer recomendacións acerca da traxectoria educativa dos estudantes (Swedish Institute, 2015).

O plan de estudos do novo currículo sueco incorpora a obrigatoriedade de cursar as materias de Física, Bioloxía e Química en cada un dos cursos do primeiro ao noveno ano (*Year 1-9*), e os contidos clave que se contemplan en cada unha das materias de ciencias van encamiñados a fornecer ao alumnado das ferramentas

necesarias para contribuír a un desenvolvementos sostible. A diferenza do que sucede en España, onde para cada materia cada autonomía xa establece os contidos a abordar en cada curso, o currículo sueco é descentralizado no sentido de que o goberno unicamente define uns obxectivos de aprendizaxe e uns contidos para cada un dos ciclos nos que se estrutura a escolarización obrigatoria, correspondendo ao profesorado a decisión de como distribuír os contidos ao longo dos tres cursos que conforman cada ciclo (Skolverket, 2011).

Na Táboa 6.6 resúmense os contidos que se contemplan na materia de Química para cada un dos ciclos nos que se estrutura a escolarización obrigatoria en Suecia, e que están relacionados coa materia e as súas transformacións.

Entre as ideas ou contidos clave que se contemplan do primeiro ao terceiro curso (7 a 10 anos) inclúense as propiedades do aire, a distinción entre substancias puras e mesturas, e o coñecemento dos tres estados de agregación da auga e das transición entre cada un dos estados físicos (Skolverket, 2011).

Do cuarto ao sexto curso (10 a 13 anos), o currículo sueco establece unha aproximación ao modelo cinético-molecular da materia para interpretar os estados de agregación e os cambios de estado, alén de mencionar unha introdución á natureza corpuscular da materia para describir e explicar tanto a estrutura como a conservación da materia durante as súas transformacións. Asemade, incorpora o coñecemento de reaccións químicas habituais na vida diaria como a fotosíntese e a combustión (Skolverket, 2011).

Do sétimo ao noveno curso (13 a 16 anos), o currículo do sistema educativo sueco fai referencia á construción dun modelo corpuscular máis sofisticado para describir e explicar a estrutura e a conservación da materia, as propiedades dos estados de agregación e os cambios de estado. Tamén se contempla unha introdución aos procesos químicos básicos nos tres medios (aire, auga e solo) desde unha perspectiva ambiental, así como o estudo do ciclo do carbono e a importancia do átomo de carbono como unidade estruturante nos organismos vivos (Skolverket, 2011).

Táboa 6.6. Contidos relacionados co dominio conceptual da materia e as súas transformacións que establece o currículo sueco durante a escolarización obrigatoria (elaboración propia, a partir de, Skolverket, 2011)

Curriculo do sistema educativo en Suecia - Materia de Química
<i>Cursos 1 a 3 (7 a 10 anos)</i>
<i>Materiais e substancias no noso entorno</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades dos materiais e como os materiais e obxectos poden clasificarse segundo propiedades como a aparencia, o magnetismo, a condutividade ou se flotan ou afunden na auga. • Diferentes materiais empregados para manufacturar obxectos da vida diaria e como se poden reciclar. • Diversos estados da auga: Sólido, líquido e gas. Transición entre os estados: Evaporación, ebulición, condensación, fusión e solidificación. • Propiedades básicas do aire e como se poden observar. • Mesturas simples e como se poden separar nos seus compoñentes a través de técnicas como a filtración ou a evaporación.
<i>Cursos 4 a 6 (10 a 13 anos)</i>
<i>Química na natureza</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo corpuscular sinxelo para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia. Movemento das partículas como explicación das transicións entre sólidos, líquidos e gases. • Clasificación das substancias e materiais segundo propiedades como a condutividade, a solubilidad, a combustibilidade e a acidez. • Propiedades e circulación da auga. Propiedades e composición do aire. • Fotosíntese, combustión e outras reaccións químicas básicas.
<i>Química, os seus métodos e formas de traballar</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Estudos sistemáticos sinxelos. Planificación, execución e avaliación. • Algúns métodos para separar os compoñentes de mesturas.
<i>Cursos 7 a 9 (13 a 16 anos)</i>
<i>Química na natureza</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo corpuscular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia. Átomos, electróns e partículas nucleares. • Compostos químicos e como os átomos se unen para formar compostos moleculares e iónicos a través de reaccións químicas. • Modelo corpuscular para describir e explicar as propiedades das fases, as transicións de fase e os procesos de distribución da materia no aire, na auga e no solo. • Algúns procesos químicos no aire, no solo e na auga desde unha perspectiva ambiental e de saúde. • Propiedades dos átomos de carbono e a súa función como as unidades básicas de todos os organismos vivos. A circulación dos átomos de carbono. • A fotosíntese e a combustión, e a conversión de enerxía nestas reaccións.
<i>Química, os seus métodos e formas de traballar</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de separación e análise como a destilación e a identificación de substancias. • A relación entre os experimentos e o desenvolvemento de conceptos, modelos e teorías.

6.2.4 Tratamento das transformacións na materia no currículo estadounidense

O sistema educativo estadounidense estrutúrase en diferentes niveis educativos (ver Cadro 6.1). A educación infantil (coñecida como *Kindergarten*) comprende dos 2 aos 5 anos. A educación primaria (coñecida como *Elementary School*) ten unha duración que vén determinada pola regulación de cada estado membro (MEFP, 2018). Se ben na maioría dos estados esta etapa educativa abrangue do primeiro ao quinto grao (6 a 11 anos), nalgúns estados consta dun curso adicional estendéndose ata o sexto grao (6 a 12 anos). A organización do nivel correspondente á educación secundaria tamén varía segundo o estado, e desagregase en dúas subetapas. Nalgúns estados a primeira subetapa denomínase *Middle School* e comprende do sexto ao sétimo grao ao oitavo (dos 11 ou 12 anos aos 14 anos), mentres que noutros estados a primeira subetapa recibe o nome de *Junior High School* e esténdese desde o sétimo ao oitavo grao (12 a 14 anos). Calquera destas dúas formas de organización vén sucedida por unha segunda subetapa coñecida como *High School* que abrangue desde o noveno ao doceavo grao, isto é, dos 14 aos 18 anos (MEFP, 2018).

Cadro 6.1. Estrutura do sistema educativo de Estados Unidos (MEFP, 2018)

Educación Infantil	<i>Kindergarten</i> (2 a 5 anos)		
Educación Primaria	<i>Elementary School</i> Grao 1-5 (6 a 11 anos)	<i>Elementary School</i> Grao 1-6 (6 a 12 anos)	
Educación Secundaria	<i>Middle School</i> Grao 6-8 (11 a 14 anos)	<i>Middle School</i> Grao 7-8 (12 a 14 anos)	<i>Junior High School</i> Grao 7-8 (12 a 14 anos)
	<i>High School</i> Grao 9-12 (14 a 18 anos)		

Do mesmo xeito que acontecía coa estrutura do sistema educativo estadounidense, a idade de escolarización obrigatoria depende da regulación de cada estado membro. Malia que a meirande parte dos estados establecen o ingreso obrigatorio no sistema educativo a partir dos cinco ou seis anos, nalgúns estados como Alaska ou Indiana a asistencia obrigatoria sitúase a partir dos sete anos, e en Pensilvania incluso chega a retrasarse a incorporación ao sistema educativo ata os

oito anos. O mesmo sucede co establecemento da idade mínima para abandonar o sistema. Se ben na maioría dos estados (un total de 25) esta idade mínima está fixada nos 18 anos, en once estados permítese abandonar a escola aos 17 anos e en quince estados aos 16 anos (Suriñach, 2017).

En canto ao currículo, no 2013 tivo lugar en Estados Unidos unha reforma educativa que afectou á área de ciencias, e que supuxo o establecemento de novos estándares de aprendizaxe para o tramo K-12, isto é, desde *Kindergarten* ao doceavo grao. Ditos estándares, baseados no documento *A Framework for K-12 Science Education* elaborado polo *National Research Council* (NRC), coñécense baixo a denominación de *Next Generation Science Standards* (NGSS) e supoñen, de xeito análogo aos actuais estándares de aprendizaxe que contempla o currículo español, unha concreción das expectativas arredor do que os estudantes saben e son quen de facer. Estes estándares desagreganse en tres dimensións: (1) ideas básicas ou *core ideas*; (2) prácticas científicas e de enxeñaría; e (3) conceptos transversais ou *crosscutting concepts*. Por ideas básicas enténdense as ideas estruturantes da ciencia, isto é, aqueles conceptos que son necesarios para comprender unha determinada disciplina. As prácticas científicas ou de enxeñaría implican un conxunto de habilidades e coñecementos que deben ser mobilizados para dar sentido aos fenómenos ou dar resposta a un problema, e constitúe un achegamento do alumnado ao modo de traballar da comunidade científica ao verse implicados en tarefas como a formulación de hipóteses, a interpretación de datos ou a construción de explicacións (NRC, 2013). A utilización do termo práctica en lugar de habilidades pretende remarcar que involucrarse na investigación científica require non só da habilidade senón tamén de coñecemento que é específico para cada práctica (NRC, 2012). Por conceptos transversais enténdense aquelas ideas subxacentes que se aplican a todos os dominios da ciencia e unifican o seu estudo (NRC, 2013).

As ideas estruturantes da ciencia desagreganse en catro grandes disciplinas: (1) *Physical Science*; (2) *Life Sciences*; (3) *Earth and Space Sciences*; e (4) *Engineering, Technology, and Applications of Science* (NRC, 2012). Na primeira destas disciplinas incorpóranse as

ideas relacionadas coa materia e as súas transformacións, o movemento e as forzas entre corpos, a enerxía, e as ondas e as súas aplicacións nas tecnoloxías para a transferencia da información. As ideas pertencentes ao dominio conceptual da materia estrutúranse á súa vez en tres grandes dimensións: (1) estrutura e propiedades da materia; (2) reaccións químicas; e (3) procesos nucleares. Na Táboa 6.7 desagreganse por cursos os estándares de aprendizaxe relacionados coa natureza da materia e as súas transformacións.

Táboa 6.7. Estándares de aprendizaxe que suxire o currículo de EEUU relacionados coa materia e as súas transformacións (elaboración propia, a partir de, NRC, 2013)

Curriculo de Estados Unidos - Área de Ciencias Físicas (<i>Physical Science</i>)
<i>Grao 2 (7 a 8 anos)</i>
<i>Estrutura e propiedades da materia</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Planificar e levar a cabo investigacións para describir e clasificar diferentes tipos de materiais a partir das súas propiedades observables. • Analizar datos obtidos a partir da experimentación con diferentes materiais para determinar que materiais posúen as propiedades máis adecuadas para un determinado propósito. • Construír argumentos a partir de probas que poñan en evidencia que algúns cambios causados polo quecemento ou arrefriamento se poden reverter e outros non. • Realizar observacións para construír unha explicación baseada en evidencias de como un obxecto constituído por un pequeno conxunto de pezas pode desmontarse e converterse nun novo obxecto.
<i>Grao 5 (10 a 11 anos)</i>
<i>Estrutura e propiedades da materia</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver un modelo que permita describir que a materia está constituída por pequenas partículas que non se poden ver. • Medir cantidades que proporcionen evidencia de que, independentemente do tipo de cambio que suceda ao quentar, arrefriar ou mesturar sustancias, a materia se conserva. • Realizar observacións e medicións para identificar materiais baseadas nas súas propiedades. • Levar a cabo investigacións para determinar se a mestura de dúas ou máis sustancias dá como resultado novas sustancias.
<i>Middle School - Grao 6 a 8 (11 a 14 anos)</i>
<i>Estrutura e propiedades da materia</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver un modelo que permita describir a composición atómica de moléculas simples e estruturas estendidas. • Desenvolver un modelo que permita predicir e describir os cambios no movemento das partículas, a temperatura e o estado físico dunha sustancia pura cando se subministra ou se retira enerxía térmica.

Reaccións químicas

- Analizar e interpretar datos acerca das propiedades das substancias antes e despois de interactuar as sustancias para determinar se unha reacción química tivo lugar.
- Desenvolver un modelo que permita describir que nunha reacción química o número total de átomos non cambia e que, polo tanto, a masa se conserva.

High School - Grao 9 a 12 (14 a 18 anos)

Estrutura e propiedades da materia

- Usar o sistema periódico como modelo para predicir as propiedades relativas dos elementos.
- Desenvolver modelos que permitan ilustrar os cambios na composición dos núcleos dos átomos e a enerxía liberada durante os procesos de fisión, fusión e decaemento radioactivo.

Reaccións químicas

- Construír explicacións para o resultado dunha reacción química sinxela baseada nos estados dos electróns máis externos dos átomos, as tendencias na táboa periódica e o coñecemento de patróns de propiedades químicas.
 - Desenvolver un modelo que ilustre que o desprendemento ou absorción de enerxía dunha reacción química depende dos cambios na enerxía total de enlace.
 - Aplicar principios científicos para construír unha explicación acerca dos efectos da temperatura e a concentración de partículas de reactivos na velocidade dunha reacción.
 - Especificar os cambios nas condicións de equilibrio dunha reacción química reversible que producirían unha maior cantidade de produtos.
 - Empregar representacións matemáticas consistentes coa idea de que os átomos, e por tanto a masa, se conservan durante unha reacción química.
-

Para o segundo grao (7 a 8 anos), os estándares de aprendizaxe estadounidenses suxiren o estudo das propiedades observables da materia e dos cambios que sofre a materia durante o quecemento ou arrefriamento. Asemade, neste grao suxírese unha aproximación á natureza corpuscular da materia a través do xogo (átomos e moléculas). Deste xeito, propónse traballar con obxectos integrados por pezas que se poidan desmontar para construír novos obxectos (NRC, 2013). Este achegamento constitúe un primeiro referente empírico que permite sentar as bases para construír paulatinamente a idea daltoniana de que a materia está formada por pequenas partículas indivisibles denominadas átomos e que estes se poden reorganizar para formar diferentes substancias. Para o quinto grao (10 a 11 anos) o currículo estadounidense establécese a construción dun modelo

incipiente por parte dos estudantes que permita describir a natureza corpuscular da materia, e propónse a realización de experiencias a través das cales se poña de manifesto o principio de conservación da materia. Asemade, neste curso faise referencia a que o alumado desenvolva diferentes experiencias para determinar se a interacción entre dúas ou máis substancias dá lugar á formación de novas substancias. Isto supón unha primeira aproximación macroscópica á idea de reacción química entendida como a transformación dunha ou varias substancias noutra ou noutras substancias diferentes (NRC, 2013). Do sexto ao oitavo grao (11 a 14 anos) o currículo estadounidense establece a construción e uso de modelos máis sofisticados para interpretar a materia e as súas transformacións. Así, propónse o desenvolvemento dun modelo atómico-molecular que permita interpretar os cambios químicos como reorganización de átomos, e dun modelo cinético-molecular que permita predicir e explicar os cambios no movemento das partículas en cada un dos estados de agregación e durante os cambios de estado (NRC, 2013). Do noveno ao doceavo grao (14 a 18 anos) o currículo estadounidense suxire a inclusión doutros conceptos máis sofisticados como aqueles relacionados co equilibrio químico, a termoquímica, a cinética das reaccións químicas ou as propiedades químicas dos elementos segundo a súa localización na táboa periódica (NRC, 2013).

6.2.5 Tratamento das transformacións na materia no currículo nova celandés

A escolarización obrigatoria en Nova Zelandia, de xeito similar a España, abrangue dos 6 aos 16 anos, se ben a meirande parte das nenas e nenos acostuman ingresar no sistema educativo aos 5 anos. Os centros de titularidade pública son gratuítos desde os 5 aos 19 anos.

O sistema educativo de Nova Zelandia está organizado en tres niveis. A educación infantil abrangue dos 0 aos 5 anos. Trátase dunha etapa non obrigatoria que non é xestionada nin financiada desde o goberno do país. A educación primaria esténdese desde os 5 aos 13 anos, e comprende oito cursos académicos que se distribúen en tres tramos: Educación Primaria (*Year 1*), Educación Primaria Obrigatoria (*Year 2-6*) e Educación Intermedia (*Year 7-8*). A educación secundaria

esténdese desde os 13 aos 18 anos, e comprende cinco cursos académicos (*Year 9-13*). Nos últimos anos desta etapa educativa (*Year 11-13*), os estudantes teñen a posibilidade de cursar diferentes ensinanzas que teñen como obxectivo capacitar ao alumnado para o sector industrial (Nusche, Laveault, MacBeath & Santiago, 2012).

O currículo de Nova Zelandia organízase arredor de oito áreas de ensino: inglés, arte, saúde e educación física, aprendizaxe de linguas, matemáticas e estatística, ciencia, tecnoloxía e ciencias sociais. Unha das metas prioritarias da área de ciencia consiste en aproximar ao alumnado ao coñecemento da natureza da ciencia, e familiarizar aos escolares coa interpretación de fenómenos naturais para fornecelos das ferramentas necesarias para unha participación crítica e responsable na sociedade (Ministry of Education, 2007).

Dentro da área de ciencias, o currículo novacelandés distingue distintas ramas. A rama denominada “Natureza da Ciencia” persegue introducir ao alumnado na actividade científica, e que comprendan o carácter provisorio do coñecemento, xa que este se somete de xeito continuado a unha avaliación en virtude das evidencias que van xurdindo. A rama denominada “Mundo vivente” busca que os estudantes adquiran coñecemento acerca dos seres vivos e de como interactúan entre eles e co propio medio. A través desta aproximación ao medio e ás diferentes formas de vida preténdese que o alumnado tome consciencia dos impactos do ser humano sobre o medio a prol dun desenvolvemento sostible. A rama denominada “Planeta Terra e máis alá” constitúe unha aproximación aos subsistemas e procesos que teñen lugar no noso planeta e noutras partes dos sistema solar. Preténdese que os estudantes entendan a interdependencia que existe entre os distintos subsistemas da Terra, isto é, a xeosfera, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera. A rama denominada “Mundo Físico” ten como finalidade que os estudantes sexan quen de explicar un amplo rango de fenómenos físicos (luz, son, calor, electricidade, magnetismo, forza...) baixo a idea unificadora de que a enerxía nun sistema físico illado permanece constante co tempo, se ben dita enerxía pode transformarse en outra forma de enerxía. A rama denominada “Mundo material” implica o estudo da materia e as súas transformacións. Preténdese que os estudantes se apropien do modelo

cinético-molecular e do modelo atómico-molecular para interpretar os cambios que sofre a materia (Ministry of Education, 2007). Na Táboa 6.8 deságréganse por cursos os contidos que o currículo de Nova Zelandia incorpora con relación ao dominio conceptual da materia.

Para os dous primeiros anos (5 a 7 anos), o currículo novacelandés establece que os estudantes han de describir as propiedades fisicoquímicas de materias de uso común e explorar os cambios que suceden cando as substancias se mesturan, se quentan ou arrefrían.

Para o terceiro ano (7 a 8 anos), o currículo de Nova Zelandia establece que o alumnado ha de comparar os cambios químicos e físicos desde unha perspectiva macroscópica. Para o cuarto ano (8 a 9 anos), o currículo nova celandés xa expresa de xeito explícito a necesidade de introducir unha aproximación á natureza corpuscular da materia para explicar os cambios observados e sentar deste xeito as bases que permitan ir construíndo paulatinamente modelos para a interpretación dos cambios na materia cada vez máis sofisticados.

Táboa 6.8. Contidos que incorpora o currículo de Nova Zelandia relacionados co concepto de materia (elaboración propia, a partir de, Ministry of Education, 2007)

Curriculo de Educación Primaria en Nova Zelandia - Área de Mundo material	
Ano 1-2 (5 a 7 anos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Observar, describir, e comparar as propiedades físicas e químicas de materiais comúns e os cambios que suceden cando os materiais se mesturan, se quentan ou se arrefrían. 	
Ano 3 (7 a 8 anos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Agrupar materiais en base a observacións e medidas das propiedades físicas e químicas dun amplo rango de materiais. • Comparar os cambios físicos e químicos. 	
Ano 4 (8 a 9 anos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Agrupar materiais en base a observacións e medidas das propiedades físicas e químicas dun amplo rango de materiais. • Comparar os cambios físicos e químicos. • Comezar a desenvolver unha comprensión da natureza corpuscular da materia e usar esta para explicar os cambios observados. 	
Ano 5 (9 a 10 anos)	
<ul style="list-style-type: none"> • Investigar as propiedades físicas e químicas de diferentes grupos de substancias, por exemplo, ácido e bases, combustibles e metais. • Distinguir entre substancias puras e mesturas, e entre elementos e compostos. • Describir a estrutura de átomos de diferentes elementos. 	

- Distinguir entre un elemento e un composto, unha substancia pura e unha mestura a nivel corpuscular.

Ano 6 (10 a 11 anos)

- Identificar patróns e tendencias nas propiedades dun amplo rango de grupos de substancias, por exemplo, ácido e bases, metais, compostos metálicos e hidrocarburos.
- Explorar os factores que afectan aos procesos químicos.
- Distinguir entre átomos, moléculas e ións, incluídos os enlaces covalente e iónico.
- Usar a teoría corpuscular para explicar factores que afectan aos procesos químicos.

Ano 7- 8 (11 a 13 anos)

- Investigar e medir as propiedades físicas e químicas de un amplo rango de substancias, por exemplo, ácidos e bases, oxidantes e redutores, e determinados compostos orgánicos e inorgánicos.
 - Relacionar as propiedades da materia coa estrutura e o tipo de enlace.
 - Desenvolver unha comprensión e aplicar conceptos fundamentais de química (por exemplo, equilibrio e termoquímica) para interpretar observacións.
-

6.2.6 Análise comparativa de currículos con relación á materia e as súas transformacións

Nos apartados previos desta tese foi descrito o tratamento que o currículo de diferentes países (España, Suecia, EEUU e Nova Zelandia) outorga ao dominio conceptual da materia e as súas transformacións. A continuación, establécese unha análise comparativa descritiva entre os currículos destes países para cada aspecto da materia (estrutura da materia, propiedades, conservación, cambios físicos e cambios químicos) durante a educación obrigatoria.

6.2.6.1 Estructura da materia

Na Táboa 6.9 compárase o tratamento que recibe a estrutura da materia nos currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia. Como se pode observar, existen diferencias importantes nos distintos países con relación a este aspecto da materia. Como se observa na Táboa 6.9, o sistema educativo no que se inicia a abordaxe da estrutura da materia a unha idade máis temperá é o estadounidense. En EEUU establécese unha primeira aproximación á natureza corpuscular da materia mediante o xogo entre os 7-8 anos. Desde unha perspectiva lúdica, o currículo estadounidense propón que o alumnado realice observacións acerca de como un obxecto constituído por un pequeno

conxunto de pezas pode desmontarse e converterse noutro obxecto diferente, creando así unha analoxía entre este e a estrutura da materia (agrupación de átomos para formar diferentes moléculas).

Táboa 6.9. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan á estrutura da materia

	GALICIA	SUECIA	EEUU	NOVA ZELANDIA
Estrutura da materia				
7-8 anos			Aproximación á natureza corpuscular da materia a través do xogo (átomos e moléculas).	
8-9 anos				Desenvolvemento dunha comprensión incipiente da natureza corpuscular da materia e uso desta para explicar os cambios observados.
9-10 anos				Descrición da estrutura de átomos de diferentes elementos. Distinción entre un elemento e un composto, unha substancia pura e unha mestura a nivel corpuscular.
10-11 anos		Aproximación ao modelo corpuscular da materia para describir e explicar a estrutura e a conservación da materia. Movemento das partículas	Desenvolvemento dun modelo que permita describir que a materia está constituída por pequenas partículas que non se poden ver (modelo corpuscular sen distinción de	Distinción entre átomos, moléculas e ións, incluídos os enlaces covalente e iónico. Uso da teoría corpuscular para explicar os factores que afectan aos

		como explicación das transicións entre sólidos, líquidos e gases.	partículas).	procesos químicos.
11-12 anos			Desenvolvemento dun modelo que permita predicir e describir os cambios no movemento das partículas, na temperatura e no estado físico dunha sustancia pura cando se subministra ou se retira enerxía térmica.	Establecemento de relacións entre as propiedades da materia coa estrutura e o tipo de enlace.
12-13 anos			Desenvolvemento dun modelo que permita describir a composición atómica de moléculas e estruturas cristalinas (modelo corpuscular con distinción de partículas).	
13-14 anos	Xustificación das propiedades dos estados de agregación e cambios de estado a través do modelo cinético-molecular.	Modelo corpuscular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a conservación da materia. Átomos, electróns e partículas nucleares. Propiedades dos átomos de carbono e a súa función como as unidades que estruturan os organismos vivos.	Desenvolvemento dun modelo que permita describir a composición atómica de moléculas e estruturas cristalinas (modelo corpuscular con distinción de partículas).	
14-15 anos	Unión de átomos para formar estruturas máis complexas (moléculas ou cristais) e explicacións das propiedades destas estruturas.		Desenvolvemento de modelos que permitan ilustrar os cambios na composición dos núcleos dos átomos e a enerxía liberada durante os procesos de fisión, fusión e decaemento radioactivo (modelo subatómico).	
15-16 anos				

En Nova Zelandia, esta aproximación á natureza corpuscular da materia prodúcese na franxa comprendida entre os 8-9 anos. O currículo nova celandés establece o desenvolvemento dun modelo incipiente sobre a natureza corpuscular da materia cunha finalidade, a

de interpretar os cambios observados. O currículo sueco basease nunha filosofía comparable ao sistema de Nova Zelandia, ao propor unha aproximación á natureza corpuscular da materia co propósito de describir e explicar tanto a estrutura e conservación da materia, como os cambios de estado, se ben demora a introdución deste modelo á franxa de idade comprendida entre os 10-13 anos. No último ciclo da educación obrigatoria en Suecia (13-16 anos) establécese o desenvolvemento por parte do alumnado dun modelo subatómico coa introdución en escena dos electróns e das partículas nucleares.

Como se observa na Táboa 6.9, dos catro currículos analizados, en Galicia é onde máis se posterga a introdución da natureza corpuscular da materia. Ata o segundo curso da ESO (13-14 anos) non se considera a introdución do modelo cinético-molecular da materia. Neste curso propónse a apropiación deste modelo por parte dos estudantes co gallo de xustificar as propiedades dos estados de agregación e as transicións entre os estados sólido, líquido e gasoso. Antes desa franxa de idade, no currículo de Galicia, a interpretación da materia e as súas transformacións recibe un tratamento meramente macroscópico.

6.2.6.2 Conservación da materia

Na Táboa 6.10 compáranse os currículos de Galicia, Suecia e EEUU con relación á conservación da materia. Como se ilustra na Táboa 6.10, o currículo de EEUU establece un achegamento á lei de conservación da materia a través da experimentación entre os 10-11 anos, ao propor a medición de cantidades que permitan comprobar que, independentemente da transformación que teña lugar na materia, a masa total se mantén invariable. Entre os 11-14 anos, o currículo estadounidense propón un achegamento ao principio de conservación da materia desde unha perspectiva microscópica, ao propor o desenvolvemento por parte do alumnado dun modelo que permita describir os cambios químicos en termos de reorganización de átomos.

O tratamento que establece o currículo en Galicia para a lei de conservación de masa é comparable ao tratamento que fai deste aspecto da materia o currículo estadounidense, se ben posterga a comprobación experimental do principio de conservación da masa ao

terceiro curso da ESO (14-15 anos) e a dedución da lei de conservación a partir da idea de reorganización de átomos ao último curso desta etapa educativa (15-16 anos).

En cambio, o currículo do país sueco obvia un primeiro achegamento macroscópico á lei de conservación da masa, e propón de maneira directa a introdución do modelo corpuscular da materia para interpretar a conservación de masa durante as transformacións entre os 10-13 anos.

Táboa 6.10. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia e EEUU outorgan á conservación da materia

GALICIA		SUECIA	EEUU
Conservación da materia			
10-11 anos		Aproximación ao modelo corpuscular da materia para describir e explicar a estrutura e a conservación da materia.	Medición de cantidades que proporcionen evidencia de que, independentemente do tipo de cambio que suceda ao quentar, arrefriar ou mesturar sustancias, a materia se conserva.
11-12 anos			Desenvolvemento dun modelo que permita describir que nunha reacción química o número total de átomos non cambia e que, polo tanto, a masa se conserva.
12-13 anos			
13-14 anos			
14-15 anos	Comprobación experimental da lei de conservación da masa en reaccións químicas sinxelas.	Modelo corpuscular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a conservación da materia.	Emprego de representacións matemáticas consistentes coa idea de que os átomos, e por tanto a masa, se conservan durante unha reacción química.
15-16 anos	Dedución da lei de conservación da masa a partir da idea de reorganización de átomos.		

6.2.6.3 Propiedades da materia

Na Táboa 6.11 compáranse os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia con relación ás propiedades da materia. Nos

distintos currículos faise unha abordaxe semellante deste aspecto da materia, se ben difiren as idades ás que se introduce cada contido.

En primeiro lugar, propónse unha aproximación macroscópica ás propiedades das sustancias, establecéndose a exploración e identificación de propiedades observables en obxectos e materiais de uso común, e a clasificación de distintos tipos de sistemas materiais de acordo con estas propiedades. En Galicia xa se contempla o recoñecemento de certas propiedades e atributos dos materiais no segundo ciclo da Educación Infantil (3 a 6 anos), mentres que nos demais países analizados adíase ata os 6-7 anos.

Táboa 6.11. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan ás propiedades da materia

	GALICIA	SUECIA	EEUU	NOVA ZELANDIA
Propiedades da materia				
3-6 anos	Recoñecemento dalgúns atributos e propiedades de obxectos e de materiais.			
6-7 anos	Exploración e identificación de propiedades físicas observables (cor, dureza, cheiro, sabor e textura) en obxectos e materiais da contorna.			Observación, descrición, e comparación das propiedades físicas e químicas de materiais comúns.
7-8 anos		Propiedades dos materiais e clasificación dos materiais segundo propiedades como o magnetismo, a condutividade ou a flotación. Propiedades básicas do aire.	Estudo das propiedades observables da materia (cor, textura, dureza...) e clasificación de diferentes tipos de materiais de acordo con estas propiedades.	Agrupamento de materiais en base a observacións e medidas das propiedades físicas e químicas dun amplo rango de materiais.
8-9 anos				

9-10 anos	Características e propiedades do aire.			Investigación das propiedades físicas e químicas de diferentes grupos de substancias, por exemplo, ácido e bases, combustibles e metais.
10-11 anos	Comparación e clasificación dos materiais segundo as propiedades físicas observables: dureza, solubilidade, estado de agregación e condutividade térmica.	Clasificación das substancias e materiais segundo propiedades como a condutividade, a solubilidade, a combustibilidade e a acidez. Propiedades e circulación da auga. Propiedades e composición do aire.	Realización de observacións e medicións para identificar materiais baseadas nas súas propiedades.	Identificación de patróns e tendencias nas propiedades dun amplo rango de grupos de substancias, por exemplo, ácido e bases, metais, compostos metálicos e hidrocarburos.
11-12 anos				
12-13 anos			Análise e interpretación de datos acerca das propiedades das substancias antes e despois de interactuar as sustancias para determinar se unha reacción química tivo lugar.	Investigación e medida das propiedades físicas e químicas de substancias, por exemplo, ácidos e bases, oxidantes e redutores, e determinados compostos orgánicos e inorgánicos. Relación das propiedades da materia coa estrutura e tipo de enlace.

13-14 anos	Identificación de propiedades xerais e características da materia.	Modelo corpuscular para describir e explicar as propiedades dos estados de agregación.		
14-15 anos	Agrupamento de átomos e explicación das propiedades das moléculas e cristais resultantes.		Uso do sistema periódico como modelo para predicir as propiedades relativas dos elementos.	
15-16 anos	Xustificación das propiedades da materia a partir do enlace químico e das forzas intermoleculares.		Desenvolvemento de modelos que permitan ilustrar os cambios na composición dos núcleos de átomos durante os procesos de fisión e fusión.	

Despois desta introdución macroscópica, os distintos currículos incorporan a introdución de modelos que permitan xustificar as propiedades da materia de acordo coa estrutura, o tipo de enlace e as forzas intermoleculares que se establecen. O currículo neocelandés establece que entre os 12-13 anos os estudantes han de ser quen de establecer relacións entre as propiedades da materia e a súa estrutura, mentres que nos demais países se retrasa ata os 13-14 anos.

6.2.6.4 Cambios físicos da materia

Na Táboa 6.12 compáranse os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia con relación ás transformacións físicas da materia, centrándose no caso particular das mesturas.

En Galicia, introdúcense as mesturas no terceiro curso da Educación Primaria (8-9 anos) ao propor para esta franxa de idade a preparación de mesturas e a identificación dos seus compoñentes. Estes contidos ampliáanse no seguinte curso (9-10 anos) ao incorporar algúns procedementos de separación de mesturas. A separación dos compoñentes que integran unha mestura vólvese abordar no último

curso da Educación Primaria (11-12 anos) e no segundo curso da ESO (13-14 anos).

Táboa 6.12. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan ás mesturas

	GALICIA	SUECIA	EEUU	NOVA ZELANDIA
Cambios físicos: Mesturas				
6-7 anos				Observación, descrición e comparación dos cambios que suceden cando os materiais se mesturan.
7-8 anos		Mesturas simples e como se poden separar nos seus compoñentes a través de técnicas como a filtración ou a evaporación.		
8-9 anos	Identificación de compoñentes e preparación dunha mestura.			
9-10 anos	Realización de experiencias con mesturas. Identificación de compoñentes e preparación dunha mestura. Procedementos de separación.			Distinción entre un elemento e un composto, unha substancia pura e unha mestura a nivel corpuscular.
10-11 anos		Alguns métodos para separar os compoñentes de mesturas.	Execución de investigacións para determinar se a mestura de dúas ou máis sustancias dá como resultado novas sustancias ou non.	
11-12 anos	Separación de compoñentes dunha mestura mediante destilación,			

	filtración, evaporación ou disolución.			
12-13 anos				
13-14 anos	Identificación de sistemas materiais como substancias puras ou mesturas. Métodos de separación dos compoñentes dunha mestura.	Técnicas de separación e análise como a destilación e a identificación de substancias.		
14-15 anos				
15-16 anos				

A diferenza do currículo en Galicia, o currículo en Suecia aborda de maneira simultánea a idea de mestura e os procedementos de separación dos compoñentes dunha mestura. No primeiro ciclo da educación obrigatoria (7-10 anos) no país sueco, introdúcese certas técnicas de separación como a filtración ou a evaporación para ir incorporando nos dous ciclos posteriores outros procedementos de separación máis sofisticados como a destilación ou a cromatografía.

O currículo de EEUU non inclúe de maneira explícita o estudo das mesturas. Soamente fai referencia ao desenvolvemento de experiencias entre os 10-11 anos para determinar se a adición de dúas ou máis substancias dá como resultado novas substancias (cambio químico) ou non (mesturas). O currículo de Nova Zelandia parte dunha estratexia similar ao currículo estadounidense ao suxerir a comparación das transformacións que teñen lugar ao combinar dous ou máis sistemas materiais, se ben a introdución da idea de mestura se produce a idades máis temperás (6-7 anos). En cursos posteriores (9-10 anos) o currículo neocelandés establece a distinción de sistemas materiais desde unha perspectiva microscópica.

Na Táboa 6.13 compáranse os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia con relación ás transformacións físicas da materia, centrándose no caso particular dos cambios de estado.

Táboa 6.13. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan aos cambios de estado

	GALICIA	SUECIA	EEUU	NOVA ZELANDIA
Cambios físicos: Cambios de estado				
3-6 anos	Descubrimiento das diferentes formas en que se encontra a auga na natureza.			
6-7 anos				Observación, descrición e comparación dos cambios que suceden cando os materiais se quentan ou se arrefrían.
7-8 anos		Coñecemento dos tres estados da auga e transición entre os estados: evaporación, ebulición, condensación, fusión e solidificación.	Construción de argumentos a partir de probas que poñan en evidencia que algúns cambios causados polo quecemento ou arrefriamento se poden reverter e outros non.	Comparación dos cambios físicos e químicos.
8-9 anos	Coñecemento dos cambios de estado da auga. O ciclo da auga.			Comparación dos cambios físicos e químicos. Desenvolvemento dunha comprensión da natureza corpuscular da materia para explicar os cambios observados.
9-10 anos				

10-11 anos		Modelo corpuscular para describir e explicar as propiedades das fases e as transicións de fase entre sólidos, líquidos e gases.	Experimentación acerca de que a materia se conserva independentemente do tipo de cambio que suceda ao quentar, arrefriar ou mesturar sustancias.	
11-12 anos	Coñecemento dos cambios de estado.		Desenvolvemento dun modelo que permita predicir e describir os cambios no movemento das partículas, a temperatura e o estado físico dunha sustancia pura cando se subministra ou se retira enerxía térmica.	
12-13 anos			Análise e interpretación de datos acerca das propiedades das sustancias antes e despois de interactuar as sustancias para determinar se unha reacción química tivo lugar.	
13-14 anos	Xustificación das propiedades dos estados de agregación da materia e os cambios de estado a través do modelo cinético-molecular. Distinción entre cambios físicos e químicos.			
14-15 anos				
15-16 anos	Influencia das forzas intermoleculares no estado de agregación.			

No currículo de Galicia e no currículo de Suecia establécese unha abordaxe semellante para este aspecto da materia, se ben existen diferencias nas idades ás que se introduce cada idea. En primeiro lugar, propónse o coñecemento dos estados de agregación da auga e

dos cambios de estado. En Suecia estas ideas incorpóranse no primeiro ciclo da educación obrigatoria (7-10 anos), mentres que en Galicia no segundo ciclo da Educación Infantil (3-6 anos) xa se fai referencia ao descubrimento das formas nas que se atopa a auga na natureza, e agárdase ata o terceiro curso da Educación Primaria (8-9 anos) para introducir os cambios de estado da auga. Despois desta aproximación macroscópica aos cambios de estado, tanto o currículo de Galicia como o currículo de Suecia establecen a incorporación do modelo cinético-molecular para explicar as propiedades dos estados de agregación e os cambios de estado, se ben existen diferencias na idade dos estudantes. O currículo sueco propón a introdución deste modelo ao longo do segundo e terceiro ciclo (10-16 anos), mentres que no currículo galego se agarda ata o segundo curso da ESO (13-14 anos).

No currículo de EEUU e Nova Zelandia contémplase o estudo dos cambios de estado partindo da observación e comparación das transformacións que suceden nas substancias cando se mesturan, se subministra ou se retira enerxía, co gallo de distinguir cando tivo lugar unha transformación física ou química. Entre os 12-14 anos en EEUU e entre os 8-9 anos en Nova Zelandia, os currículos establecen a construción de modelos nos que se teña en conta a natureza corpuscular da materia para explicar os cambios observados.

De novo vese que, dos catro currículos analizados, o galego é o que máis posterga a introdución dun modelo microscópico para describir e explicar os cambios de estado.

6.2.6.5 Cambios químicos da materia

Na Táboa 6.14 compáranse os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia con relación aos cambios de tipo químico. O currículo de EEUU para este aspecto da materia posúe unha estrutura en espiral. Parte da introdución de ideas básicas relacionadas coa transformación da materia, para ir construíndo ao longo da educación obrigatoria ideas e modelos dun maior nivel de sofisticación. Entre os 8-9 anos, o currículo estadounidense establece unha primeira aproximación á natureza corpuscular da materia e aos cambios químicos a través do xogo. O currículo establece que os cativos

realicen observacións acerca de como as pezas que integran un obxecto se poden reorganizar para formar outro obxecto diferente. Tamén se propón para esta franxa de idade a construción de argumentos que xustifiquen a reversibilidade ou irreversibilidade dos cambios na materia ao quentar ou arrefriar. Entre os 10-11 anos introdúcese o modelo corpuscular da materia sen distinguir o tipo de partícula, e propónse a comprobación experimental da lei de conservación da masa durante as transformacións da materia. Entre os 11-14 anos establécese a interpretación dunha reacción química en termos de reorganización de átomos, introducindo un modelo corpuscular da materia máis sofisticado no que se fai unha distinción entre o tipo de partícula. Entre os 14-16 anos propónse a introdución de conceptos máis sofisticados como o equilibrio químico, a termoquímica ou a cinética química.

Táboa 6.14. Análise comparativa do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan aos cambios químicos.

	GALICIA	SUECIA	EEUU	NOVA ZELANDIA
Cambios químicos				
6-7 anos				Observación, descrición, e comparación dos cambios que suceden cando os materiais se mesturan, se quentan ou se arrefrían.
7-8 anos			Argumentación de por que algúns cambios causados polo quecemento ou arrefriamento se poden reverter e outros non. Aproximación á natureza corpuscular da materia mediante o xogo.	Comparación dos cambios físicos e químicos.

8-9 anos				Comparación dos cambios físicos e químicos. Desenvolvemento dunha comprensión da natureza corpuscular da materia para explicar os cambios observados.
9-10 anos				
10-11 anos	Realización de experiencias sinxelas sobre reaccións químicas habituais na vida cotiá e doméstica: a combustión, a oxidación e a fermentación.	Aproximación ao modelo cinético-molecular e ao modelo atómico-molecular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia.	Natureza corpuscular da materia. Principio de conservación da materia.	Exploración dos factores que afectan aos procesos químicos. Uso da teoría corpuscular para explicar factores que afectan aos procesos químicos.
11-12 anos	As reaccións químicas: a combustión, a oxidación e a fermentación.	Fotosíntese, combustión e outras reaccións químicas básicas.	Conservación de átomos e masa nunha reacción química. Análise e interpretación das propiedades das substancias iniciais e finais para determinar se tivo lugar unha reacción química.	Aplicación de conceptos fundamentais de química (por exemplo, equilibrio e termoquímica) para interpretar observacións.
12-13 anos				
13-14 anos	Distinción entre cambios físicos e químicos. Descrición dunha reacción química como cambio dunhas substancias noutras.	Modelo cinético-molecular e modelo atómico-molecular para describir e explicar a estrutura, a reciclaxe e a indestrutibilidade da materia.		

14-15 anos	<p>Mecanismo dunha reacción química a partir da idea de reorganización de átomos.</p> <p>Lei de conservación da masa.</p> <p>Comprobación da influencia de factores sobre a velocidade de reacción mediante experiencias no laboratorio.</p>	<p>Compostos químicos e como os átomos se unen para formar compostos moleculares e iónicos a través de reaccións químicas.</p> <p>Algúns procesos químicos no aire, no solo e na auga desde unha perspectiva ambiental e de saúde. A fotosíntese e a combustión, e a conversión de enerxía nestas reaccións.</p> <p>A circulación dos átomos de carbono.</p>	<p>Inclusión doutros conceptos máis sofisticados como aqueles relacionados co equilibrio químico, a termoquímica, a cinética das reaccións químicas ou as propiedades químicas dos elementos segundo a súa localización na táboa periódica (modelo subatómico).</p>	
15-16 anos	<p>Mecanismo dunha reacción química a partir da idea de reorganización de átomos.</p> <p>Velocidade de reacción e factores que inflúen sobre ela.</p> <p>Reaccións endotérmicas e exotérmicas.</p> <p>Reaccións de síntese, combustión e neutralización.</p>			

En Nova Zelandia o currículo segue unha estratexia semellante no que respecta a este dominio conceptual. O currículo deste país propón un primeiro achegamento aos cambios na materia desde unha perspectiva macroscópica entre os 6-8 anos. Para esta franxa de idade, o currículo neocelandés suxerir desenvolver experiencias que permitan comparar os tipos de cambios que suceden na materia. Entre os 8-9 anos introdúcese a natureza corpuscular da materia como unha

ferramenta para interpretar os cambios observados na materia. Entre os 11-13 anos propónse a introdución de conceptos máis sofisticados como o equilibrio químico ou a termoquímica. En cambio, o currículo de Suecia obvia un primeiro achegamento macroscópico á idea de cambio químico. No país sueco a introdución do concepto de reacción química vai ligado á introdución do modelo atómico-molecular para explicar os cambios observados. O currículo en Suecia establece a abordaxe destes contidos no segundo ciclo da educación obrigatoria, isto é, entre os 10-13 anos.

En Galicia, a interpretación dun cambio químico en termos de reorganización de partículas adíase ao terceiro curso da ESO (14-15 anos). Nos demais países o concepto de reacción química desde unha perspectiva microscópica propónse entre os 8-10 anos. Antes de introducir de maneira explícita a idea de reacción química, no quinto e sexto curso (10-12 anos) da Educación Primaria en Galicia establécese o desenvolvemento de cambios químicos habituais na vida diaria como a combustión, a oxidación e a fermentación. No segundo curso da ESO (13-14 anos) introdúcese a idea de reacción química desde unha perspectiva meramente macroscópica describindo este cambio na materia como unha transformación dunhas substancias noutras diferentes. Despois da interpretación dun cambio químico en termos de reorganización de partículas no terceiro curso da ESO (14-15 anos), no último curso da educación obrigatoria propónse a inclusión de conceptos máis sofisticados como a cinética química e a termoquímica.

Despois desta análise descritiva acerca do tratamento que os currículos de Galicia, Suecia, EEUU e Nova Zelandia outorgan aos distintos aspectos da materia, xorden moitas cuestións relacionadas coas causas destas diferencias á hora de introducir certas ideas ou modelos. Por exemplo, como se indicou en anteriores parágrafos, en Galicia agardan máis tempo en introducir un modelo corpuscular da materia que permita dar sentido a experiencias da vida diaria, mentres que noutros países se fai unha introdución a este modelo a idades máis temperás. Estas diferenzas poden deberse a distintas crenzas arredor das capacidades dos estudantes á hora de comprender determinadas ideas ou á consideración dunha alta demanda cognitiva con relación á

apropiación de determinados conceptos ou a construción de determinados modelos.



6.3 OBXECTIVO E PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Neste capítulo darase resposta ao Obxectivo 3 (O3) e ao Obxectivo 4 (O4) desta tese. O Obxectivo 3 (O3) persegue *comparar as explicacións e os modelos que activan os participantes das etapas pre-obrigatoria (Educación Infantil) e obrigatorias (Educación Primaria e Educación Secundaria Obligatoria) do sistema educativo español ao interpretar cambios químicos cotiáns*. Este obxectivo xeral desagregase nas seguintes preguntas de investigación:

RQ5. Existen diferenzas entre as ideas e os modelos que activan os participantes do sistema educativo español ao longo da educación formal ao interpretar cambios químicos cotiáns?

RQ6. Como progresan as ideas dos participantes do sistema educativo español acerca das transformacións na materia ao longo da educación formal?

Pola súa banda, o Obxectivo 4 (O4) persegue *avaliar en que medida o deseño do currículo favorece a apropiación por parte dos participantes dun modelo para o cambio químico comparable ao modelo da ciencia escolar*. Este obxectivo xeral desagregase nas seguintes preguntas de investigación:

RQ7. Existen diferenzas no desempeño dos participantes do último curso da educación obrigatoria do sistema educativo de España e Suecia ao interpretar cambios químicos cotiáns?

RQ8. En que medida o deseño do currículo pode favorecer a apropiación por parte dos participantes dun modelo para o cambio químico comparable ao modelo da ciencia escolar?

6.4 COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASOS EC1, EC2 E EC3

Neste apartado darase resposta ao Obxectivo 3 (O3) de investigación ao presentarse unha análise na que se comparan as ideas e os modelos que activaron os participantes de Educación Infantil (EC1), Educación Primaria (EC2) e Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) ao interpretar cambios químicos da vida diaria coa finalidade de coñecer en que medida as concepcións do alumnado progresan ao longo da educación formal.

A análise comparativa de carácter cualitativo entre os diferentes grupos de idade desenvolveuse en dúas etapas. Durante a primeira etapa, a partir dos eventos máis significativos do discurso transcrito e mediante un proceso indutivo e iterativo, extraéronse categorías que describen as ideas ou elementos explicativos que foron xurdindo da interpretación das respostas. Co termo elemento explicativo enténdense as ideas centrais ou clave dunha categoría (Fisher, 1998; García-Rodeja & Lima, 2012). As categorías emerxentes non son excluíntes, xa que un mesmo estudante ao longo da discusión pode dar respostas que incorporen ideas que se enmarquen en máis dunha categoría. A categorización das respostas foi efectuada, de forma independente, pola autora e directora desta tese doutoral. Logo, ambas investigadoras discutiron a clasificación das respostas nas que houbo discrepancia ata acadarse un consenso.

En segundo lugar, estableceuse unha relación entre as categorías xeradas e os modelos para a interpretación dos cambios químicos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997).

6.4.1 Combustión dunha candea

Neste apartado establécese unha comparación entre as ideas e os modelos activados polos participantes das etapas pre-obrigatoria (Educación Infantil) e obrigatorias (Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria) do sistema educativo español ao interpretar a combustión dunha candea.

Para cada estudo de casos, en primeiro lugar preséntanse as ideas expresadas polos estudantes durante o fenómeno. Estes resultados amósanse mediante táboas nas que se inclúen as categorías extraídas a partir da análise das intervencións dos participantes durante a

discusión. Ademais, para cada categoría identifícanse os estudantes que fan mención aos elementos explicativos que contempla cada categoría, e indícase a proporción (Φ) de estudantes que fan mención aos diferentes elementos explicativos. Para a interpretación dos resultados hai que ter en conta que algúns estudantes mencionaron máis dunha idea ao longo da discusión arredor do fenómeno.

Na Táboa 6.15 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do último curso do segundo ciclo de Educación Infantil (EC1) ao interpretar a combustión dunha candeia nas distintas fases da intervención (predición, observación e explicación). Como xa se describiu en anteriores capítulos desta tese, durante a combustión dunha candeia, a cera reacciona co osíxeno do aire orixinándose como produtos da combustión vapor de auga e dióxido de carbono.

Como se observa na Táboa 6.15, as catro primeiras categorías, nas que os estudantes emiten respostas que incorporan os elementos explicativos que fan referencia a que se produce bafo sobre o vaso, se derrete a candeia e se derrete ou queima o vaso, poden considerarse categorías de tipo descritivo. Nas restantes categorías si se observa como o alumnado intenta xustificar as súas predicións e/ou observacións buscando unha posible causa, se ben ao longo da intervención caen en contradicións ao mencionar diferentes elementos explicativos para describir e dar conta dun mesmo aspecto da realidade. Semella que os cativos non son conscientes destas contradicións, o que se ten descrito como unha característica da etapa preoperacional.

Como se observa na Táboa 6.15, dentro das categorías de natureza descritiva, dúas participantes (2/14) fixeron alusión durante a fase de predición a que a candeia se ía derreter, catro nenos (4/14) mencionaron que se ía derreter o vaso e un cativo (1/14) indicou que o vaso se ía queimar.

Porén, a categoría que aglutina un maior número de mencións durante a fase de predición agrupa aquelas respostas que fan referencia a que se ía producir bafo sobre o recipiente empregado para cubrir a candeia acesa.

Táboa 6.15. Proporción (Φ) de participantes do último curso do segundo ciclo de Educación Infantil (EC1) que fan mención aos diferentes elementos explicativos ao interpretar a combustión dunha candea: Grupo A (N=5), grupo B (N=5), grupo C (N=4).

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
Prodúcese bafo sobre o vaso.	Alicia, Alberto, Adrián, Amelia, Brais	5/14	Adrián, Brais, César	3/14	César	1/14
Derrétese a candea.	Adrián, Amelia	2/14	Carlos, Cibrán, Celso, César	4/14	César, Cibrán	2/14
Derrétese o vaso.	César, Cibrán, Carlos, Celso	4/14	-	0/14	-	0/14
Quéimase o vaso.	César	1/14	-	0/14	-	0/14
Prodúcese bafo sobre o vaso por pequenas gotas que chocan co recipiente.	Alicia, Brais, Bruno	3/14	Brais	1/14	Brais	1/14
Prodúcese bafo sobre o vaso polo fume/lume.	Adrián, Brais, Bruno	3/14	Alicia, Bruno	2/14	Celso	1/14
Apágase a candea pola falta de aire/osíxeno.	-	0/14	Carlos	1/14	Alexandra	1/14
Apágase a candea ao entrar aire.	-	0/14	Alexandra	1/14	Alicia	1/14
Apágase a candea porque dentro do vaso hai aire.	-	0/14	Carlos, Celso	2/14	Carlos, César, Cibrán	3/14
Apágase a candea pola humidade.	-	0/14	Adrián	1/14	Alicia	1/14
Apágase a candea polo frío.	Brais, Branca, Breixo	3/14	Breixo	1/14	Breixo	1/14

É interesante como algúns cativos deste estudo de casos (EC1) mencionaron a aparición de gotas sobre o vaso que tapaba a candea antes de observar o devir o fenómeno, sendo os únicos de todo o conxunto de participantes desta investigación que fixeron referencia a esta idea na primeira fase da intervención. En concreto, máis dun terzo dos participantes (5/14) mencionaron esta idea para describir o que pensaban que ía suceder ao tapar unha candea acesa cun recipiente, sen observarse por parte dos nenos un intento de xustificar esta predición de maneira espontánea. Soamente cando a investigadora pediu aos nenos que explicasen o por que da súa predición, se observou como algúns cativos (3/14) mencionaron que o embazamento se debía ao fume/lume, e a mesma proporción de participantes (3/14) fixo referencia a “pequenas gotas que chocan co cristal”. Estas respostas poden suxerir que están a utilizar ideas que poderían aproximarse á concepción de que a auga pasa de estado vapor a líquido. Algúns participantes como Alicia e Brais chegaron a establecer unha asociación coa vida diaria ao sinalar que o que ía suceder se asemellaba “ao que se pon nos cristais” ou ao que sae “da nosa boca cando fai moito frío”, respectivamente.

Incorporando unha posible explicación para a predición, tres participantes (3/14) mencionaron que a candea se ía apagar. Estes nenos xustificaron que o lume se ía extinguir en base á introdución dun elemento alleo ao fenómeno, o frío. Non se esperaba que nenos de Educación Infantil mencionasen de xeito espontáneo a necesidade do aire ou do osíxeno para manter a candea acesa.

Durante a seguinte fase da intervención na aula, a observación de que a candea se apagaba ao tapala cun recipiente desencadeou que os participantes incorporasen novos elementos explicativos nas súas respostas para xustificar os feitos. Como se recolle na Táboa 6.15, algún estudante mantivo a idea de que a candea se apagaba por mor do frío, xa que o concordar o seu pronóstico coa observación non sentiu a necesidade de buscar explicacións alternativas. Outros cativos, tres na fase de observación (3/14) e catro na fase de explicación (4/14), fixeron mención a que a candea se apagaba polo aire. Entre os que introduciron nas súas respostas o aire como elemento explicativo, distinguimos aqueles que pensaban que a candea se apagaba polo

simple feito de haber aire no interior do recipiente, mentres que outros consideraban que se debía ao aire do exterior que entraba dentro do recipiente por algunha abertura. Esta idea intuitiva de que a candea se apaga porque lle entra aire é habitual que se manifeste entre os nenos e as nenas. En experiencias da vida diaria, probablemente viron extinguir os lumes das candeas, os mistos ou outros materiais combustibles soprando directamente sobre a chama, e desta experiencia no ámbito familiar puido emerxer a idea intuitiva de que o aire apaga os lumes (Martí, 2012).

Outros estudantes, tres na fase de observación (3/14) e un (1/14) na fase de explicación, continuaron a facer mención nas súas respostas a que se produce embazamento sobre o vaso, e algúns nenos, catro (4/14) na fase de observación e dous (2/14) na fase de explicación, expresaron que a candea se derrete. Con relación ao embazamento do recipiente, un neno sinalou tanto na fase de observación como na fase de explicación que a aparición de auga se debía a pequenas gotas que chocaban coas paredes do recipiente de vidro. Dous nenos (2/14) na fase de observación e un neno (1/14) na fase de explicación mencionaron nas súas respostas que o embazamento proviña do fume ou do lume da candea.

Como se pode observar na Táboa 6.15, un neno na fase de observación e unha nena na fase de explicación xustificaron que a candea se apagaba facendo referencia a unha falta de osíxeno ou aire no interior do recipiente. Estas respostas foron fomentadas polas preguntas retadoras da investigadora, ao pedir aos cativos que pensasen por que o lume non se extingue cando a candea se deixa descuberta. Estas respostas nas que se contempla a necesidade do osíxeno ou do aire nunha combustión non se esperaban en nenos de preescolar.

Na Táboa 6.16 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do sexto curso da Educación Primaria (EC2) ao interpretar a combustión dunha candea nas distintas fases da intervención (predición, observación e explicación).

Durante a fase de predición, todas as mencións se encadraron nas categorías que fan referencia, xa sexa de maneira implícita ou explícita, a unha necesidade de aire ou osíxeno para que a candea

arda. Un terzo dos participantes (4/12) mencionou que a candea se apagaría aludindo a unha falta de osíxeno ou aire. Un alumno (1/12) xustificou que a candea se apagaría mencionando a idea do osíxeno como alimento para a chama, e outro alumno (1/12) fixo referencia a que a candea se ía apagar porque non podía respirar. En ningunha destas respostas se evidencia que exista unha idea de interacción química entre o combustible da candea e o osíxeno do aire.

Táboa 6.16. Proporción (Φ) de participantes do sexto curso da Educación Primaria (EC2) que fan mención aos diferentes elementos explicativos ao interpretar a combustión dunha candea: Grupo D (N=4), grupo E (N=4), grupo F (N=4)

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
Apágase a candea porque non ten respiración.	Dario	1/12	-	0/12	-	0/12
Apágase a candea pola falta de aire/osíxeno.	Eduardo, Eva, Felisa, Flor	4/12	Daniel	1/12	Eduardo, Eva, Flor	3/12
O osíxeno como recurso necesario ou alimento para a chama.	Daniel	1/12	-	0/12	Felisa, Eduardo	2/12
Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor de auga do aire.	-	0/12	-	0/12	Daniel, Eva	2/12
Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor que sae da chama.	-	0/12	-	0/12	Diego	1/12
Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor que sae da candea ou da cera da candea.	-	0/12	-	0/12	Estrela, Eva, Felisa	3/12
Prodúcese bafo sobre o vaso polo fume.	-	0/12	-	0/12	Flor, Fátima, Fabiola	3/12

Prodúcese bafo sobre o vaso porque condensa o osíxeno.	-	0/12	-	0/12	Elisa, Fátima	2/12
Prodúcese bafo sobre o vaso pola calor.	-	0	-	0/12	Eva, Eduardo	2/12
O osíxeno/aire transmútase en vapor de auga.	-	0/12	-	0/12	Daniel, Flor	2/12
A cera arde.	-	0/12	-	0/12	Eva, Eduardo, Daniel, Fabiola	4/12
Soamente arde a mecha.	-	0/12	-	0/12	Elisa, Felisa	2/12
A cera cambia de estado (derrétese, evapórase...) ou quéntase.	-	0/12	-	0/12	Darío, Diego, Daniel	3/12

Durante as posteriores fases da intervención na aula, unha parte das mencións continuaron a encadrarse nas categorías que contemplan unha necesidade de aire ou osíxeno para que a candeia arda. Na fase de explicación, tres participantes mencionaron que a candeia se apagaba debido a unha falta de osíxeno (3/12) e dous estudantes (2/12) expresaron explicitamente durante a discusión en grupo a idea do osíxeno como alimento para a chama. Non obstante, durante as dúas últimas fases da intervención, os resultados evidencian un intento por parte dos estudantes de explicar outros aspectos da realidade alén da extinción da chama, emerxendo novas categorías de resposta.

Como se observa na Táboa 6.16, foron varios os estudantes que manifestaron haber visto como o recipiente se embazaba, se ben as xustificacións outorgadas por cada un deles foron dispares. Ademais, estas xustificacións xurdiron a raíz das preguntas formuladas pola investigadora co gallo de estimular a discusión en grupo, xa que a meirande parte dos participantes tenderon a desconsiderar aquelas observacións para as cales non tiñan resposta. Dous estudantes (2/12) na fase de explicación mencionaron nas súas respostas que aparecía auga sobre as paredes do vaso debido a que o vapor de auga que

contén o aire do ambiente condensou. Tanto a categoría que fai referencia a unha produción de bafo polo vapor que sae da candeia ou da cera da candeia como a categoría que fai referencia a unha produción de bafo polo fume apareceron nas respostas de tres participantes (3/12). Dous alumnos (2/12) interpretaron a aparición de gotas sobre o vaso que cubría a candeia como unha transmutación de calor en auga, e outros dous participantes (2/12) incluíron nas súas respostas a idea de que o osíxeno se transmutara en vapor de auga, explicando desde xeito a condensación que tivo lugar. Estas respostas son semellantes ás descritas noutros traballos (e. g. Abdullah et al., 2016; Chang, 1999; Coştu, 2008; Coştu et al, 2012, Kind & Kind, 2011; Méndez, 2013; Prieto et al., 1992) que poñen de manifesto as dificultades dos estudantes para interpretar o fenómeno de condensación, sendo recorrentes as respostas que consideran a auga líquida como o produto dunha transmutación de sustancias ou enerxía. Dúas alumnas (2/12) tiveron dificultades para identificar o vapor de auga, e interpretaron o embazamento do vaso como unha condensación do osíxeno.

Por outra banda, observouse que algúns participantes non tiveron dificultades para identificar o material combustible nunha candeia. Un terzo dos participantes (4/12) manifestaron explicitamente que a cera arde durante a combustión dunha candeia, mentres que unha cuarta parte dos participantes (3/12) mencionaron de xeito explícito nas súas respostas que a cera unicamente mudaba de estado físico.

Na Táboa 6.17 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do cuarto curso da Educación Secundaria Obligatoria (EC3) ao interpretar a combustión dunha candeia nas distintas fases da intervención (predición, observación e explicación).

Durante a fase de predición, todas as mencións se encadraron nas categorías que fan referencia a unha necesidade de aire ou osíxeno para que a combustión teña lugar. A metade (4/8) dos participantes deron respostas que se encadraron na categoría do osíxeno como alimento para a chama. Estes alumnos interpretaron a presenza de osíxeno como indispensable para producir a combustión, pero non mencionaron unha interacción química entre a cera e o osíxeno do

aire. As súas respostas poden ser interpretadas como unha transmutación do osíxeno en chama (Watson et al., 1997). Unicamente unha participante (1/8) fixo referencia a que a candeia se ía apagar porque o osíxeno desaparecía e outra participante (1/8) mencionou que a candeia se ía apagar pola falta de O_2 .

Táboa 6.17. Proporción (Φ) de participantes do cuarto curso da Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) que fan mención aos distintos elementos explicativos ao interpretar a combustión dunha candeia: Grupo G (N=3), grupo H (N=2), grupo I (N=3)

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
Apágase a candeia porque o osíxeno desaparece.	Gisela	1/8	-	0/8	-	0/8
O osíxeno como recurso necesario ou alimento para a chama.	Graciela, Gloria, Helena, Hugo	4/8	Graciela	1/8	Graciela, Helena, Irene	3/8
A chama absorbe osíxeno.	-	0/8	-	0/8	Idaira	1/8
Apágase a candeia pola falta de aire/ osíxeno.	Irene	1/8	Gisela	1/8	Graciela	1/8
O osíxeno transmútase en CO_2 .	-	0/8	-	0/8	Helena	1/8
Prodúcese unha interacción entre a candeia e o osíxeno producíndose CO_2 .	-	0/8	-	0/8	Hugo	1/8
Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor de auga do aire.	-	0/8	-	0/8	Helena	1/8

Prodúcese bafo sobre o vaso pola diferenza de temperaturas.	-	0/8	-	0/8	Graciela, Helena	2/8
Prodúcese bafo sobre o vaso porque condensa o osíxeno.	-	0/8	-	0/8	Idaira	1/8
A cera arde.	-	0/8	-	0/8	Hugo	1/8
A cera cambia de estado (derrétese, evapórase...) ou quéntase.	-	0/8	-	0/8	Graciela, Hugo, Helena, Irene, Idaira	5/8
Soamente arde a mecha.	-	0/8	-	0/8	Graciela, Helena, Irene, Idaira	4/8

Durante as posteriores fases da intervención na aula, ademais de manterse a idea da necesidade do osíxeno para que a combustión se produza, os participantes incorporaron novos elementos explicativos nas súas respostas a raíz das observacións realizadas.

Como se observa na Táboa 6.17, foron varios os estudantes que fixeron explícita a observación de que o vaso que tapaba a candeia se embazaba, se ben houbo diversidade de xustificacións para este feito. Unha alumna (1/8) mencionou durante as súas intervencións que aparecía auga sobre as paredes do vaso debido a unha condensación do vapor de auga presente no aire, e dúas alumnas (2/8) mencionaron unha diferenza de temperaturas.

Con relación ao material combustible nunha candeia, soamente un alumno fixo explícito que arde a cera. A categoría que fai referencia a que a cera unicamente cambia de estado físico foi mencionada por máis da metade dos participantes (5/8). Moitos dos participantes que mencionaron esta idea, tamén se situaron na categoría que alude a que unicamente arde a mecha (4/8).

Por outra parte, polo que respecta a identificar a causa de que a candeia se apague, ademais de manterse as mencións correspondentes a que a chama se alimenta de osíxeno (1/8 na fase de observación e 3/8 na fase de explicación) e que a candeia se apaga pola falta de

osíxeno (1/8 na fase de observación e 1/8 na fase de explicación), houbo algúns alumnos que incorporaron unha idea incipiente de interacción química. A categoría que fai referencia a que se produce unha interacción entre a candeia e o osíxeno producíndose CO_2 atopouse nas intervencións dun alumno (1/8) durante a fase de explicación, e a categoría que fai referencia a que a chama absorbe osíxeno, unha idea comparable ás que Watson et al. (1997) incluíron no modelo de transición entre o de transmutación e reacción química, atopouse nas intervencións dunha alumna (1/8).

A continuación, na Táboa 6.18 relaciónanse as categorías que emerxeron durante a interpretación das respostas dadas polos estudantes durante a discusión en grupo e os modelos para a descrición dos cambios químicos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997). Consideráronse así cinco niveis de sofisticación (Hadenfeldt et al., 2014) para a interpretación da combustión dunha candeia. Considéranse de nivel 0 tanto as respostas de carácter descritivo como aquelas respostas nas que si existe un intento de xustificación, pero nas que estas xustificacións se basean en asociacións con experiencias da vida diaria máis que nun coñecemento comparable ao coñecemento da ciencia escolar. De acordo con estas consideracións, o nivel 0 (N0) agrupa aquelas respostas nas que os estudantes inclúen elementos explicativos que fan referencia a que a candeia se apaga pola humidade, polo frío, polo vento ou porque dentro do recipiente hai aire. Considéranse de nivel 1 (N1) as respostas comparables ao modelo de desaparición ao incorporar ideas que fan referencia a que as substancias desaparecen ou se transforman en nada (Andersson, 1990).

Dentro do nivel 2 (N2) inclúense as respostas comparables aos modelos de modificación e transmutación. Considérase que os estudantes están a activar un modelo de modificación cando mencionan que os reactivos aínda están presentes ao concluír o proceso, habéndose modificado unicamente as súas propiedades físicas, e considérase que están a activar un modelo de transmutación cando empregan ideas nas que fan referencia a unha transmutación de substancias ou de materia en enerxía (Andersson, 1990; Watson et al., 1997).

Táboa 6.18. Modelos de cambio químico e categorías asociadas durante a interpretación da combustión dunha candea segundo o nivel de sofisticación (RQ: reacción química, RQ+T: transición entre transmutación e reacción química, T: transmutación, M: modificación, D: desaparición, X: descritivo)

Nivel de sofisticación	Modelo	Categorías
Nivel 3	RQ	Prodúcese unha interacción entre a candea/cera e o osíxeno producíndose CO ₂ (MACRO). A cera arde (MACRO).
Nivel 2/3	RQ+T	A chama absorbe osíxeno.
Nivel 2	T	O osíxeno como recurso necesario ou alimento para a chama. O osíxeno/aire transmútase noutras sustancias (vapor de auga, CO ₂ ...). Prodúcese bafo sobre o vaso porque condensa o osíxeno. Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor que sae da chama. Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor que sae da candea ou da cera da candea.
	M	A cera cambia de estado (derrétese, evapórase...) ou quéntase. Prodúcese bafo sobre o vaso pola diferenza de temperaturas. Prodúcese bafo sobre o vaso polo vapor de auga do aire.
Nivel 1	D	Apágase a candea porque o osíxeno desaparece. Apágase a candea pola falta de aire/osíxeno.
Nivel 0	X	Prodúcese bafo sobre o vaso. Prodúcese bafo sobre o vaso por pequenas gotas que chocan co recipiente. Prodúcese bafo sobre o vaso polo fume/lume/calor. Derrétese a candea. Derrétese/Quéimase o vaso. Apágase a candea ao entrar aire. Apágase a candea porque dentro do vaso hai aire. Apágase a candea pola humidade. Apágase a candea polo frío. Apágase a candea porque non ten respiración.

Nun nivel de transición entre o nivel 2 (N2) e o nivel 3 (N3) inclúense as respostas nas que se intúe a activación dun modelo incipiente de reacción química, ao dar respostas que deixar entrever unha certa interacción entre sustancias. As respostas incluídas neste nivel son semellantes ás que Watson et al. (1997) incluíron no modelo

de transición entre o modelo de transmutación e o modelo de reacción química.

Considéranse de nivel 3 (N3) as respostas comparables ao modelo de reacción química da ciencia escolar. Dentro do terceiro nivel de sofisticación pode distinguirse unha interpretación macroscópica do cambio químico se os estudantes describen o proceso como a transformación dunha ou varias substancias noutra ou noutras substancias, ou unha interpretación microscópica se os estudantes describen o proceso en termos de reorganización de átomos.

Na Táboa 6.19 establécese unha análise comparativa dos modelos activados polos participantes de Educación Infantil (EC1), Educación Primaria (EC2) e Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) ao intentar interpretar o que sucede cando unha candea que está ardendo se tapa cun vaso de vidro. Cómpre sinalar que un mesmo estudante pode mencionar elementos explicativos de diferentes niveis de sofisticación durante a intervención para interpretar o mesmo fenómeno, e que incluso un mesmo estudante pode facer referencia a diferentes elementos explicativos para describir e explicar unha mesma observación. Partindo desta casuística, para comparar os modelos e niveis acadados polos participantes, adxudicouse a cada estudante o maior nivel dos elementos explicativos aos que fixo mención durante toda a intervención.

Como se observa na Táboa 6.19, a meirande parte dos participantes de Educación Infantil (EC1) situouse no nivel máis baixo de sofisticación (N0) ao dar respostas descritivas ou nas que se aportan xustificacións derivadas do establecemento de relacións con experiencias do eido familiar no canto de derivar do coñecemento da ciencia escolar. Soamente dous estudantes deste estudo de casos (EC1) deron respostas que se encadran no nivel 1 de sofisticación (N1) ao mencionar nalgunha intervención que a candea se apagara porque non entraba aire ou osíxeno.

Polo que respecta aos estudantes de Educación Primaria, a maioría dos participantes deste estudo de casos (EC2) deron respostas comparables ao segundo nivel de sofisticación (N2). Cinco alumnos fixeron referencia a unha transmutación de substancias ou a unha conversión de enerxía en materia, e outros dous alumnos mencionaron

unicamente un cambio nas propiedades físicas das substancias. Interesante que catro participantes chegaron a situarse nalgũa das súas intervencións no terceiro nivel de sofisticación (N3) mencionando o elemento explicativo que fai referencia a que a cera arde.

Táboa 6.19. Modelos expresados polos participantes de Educación Infantil (EC1), Educación Primaria (EC2) e Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) e niveis de progresión asociados ao interpretar a combustión dunha candeia (RQ: reacción química, RQ+T: transición entre transmutación e reacción química, T: transmutación, M: modificación, D: desaparición, X: descritivo)

Nivel de sofisticación	Modelo	Educación Infantil (EC1)	Educación Primaria (EC2)	Educación Secundaria (EC3)
Nivel 3	RQ		Daniel (Macro) Fabiola (Macro) Eduardo (Macro) Eva (Macro)	Hugo (Macro)
Nivel 2/3	RQ+T			Idaira
Nivel 2	T		Diego, Estrela, Fátima, Flor, Felisa	Graciela, Helena, Irene
	M		Darío, Elisa	
Nivel 1	D	Carlos, Alexandra		Gisela
Nivel 0	X	Alicia, Alberto, Adrián, Amelia, Brais, Bruno, Breixo, Branca, Cibrán, Celso, César.		

En canto aos estudantes da Educación Secundaria Obrigatoria (EC3), nesta experiencia observouse un desempeño semellante ao dos participantes de Educación Primaria (EC2), cunha alumna situada no nivel 1 de sofisticación (N1), tres alumnas situadas no nivel 2 (N2), unha alumna situada nun nivel de transición entre o modelo de reacción química e o modelo de transmutación, e un alumno situado no nivel máis alto da progresión (N3).

De forma xeral, podemos dicir que do último curso da Educación Infantil (5 a 6 anos) ao sexto curso da Educación Primaria (11 a 12 anos) si se observa unha progresión notable nas interpretacións do

alumnado cando intentan dar sentido á combustión dunha candeia. Porén, do sexto curso da Educación Primaria (11 a 12 anos) ao último curso da Educación Secundaria Obrigatoria (15 a 16 anos) obsérvase un certo estancamento na progresión da comprensión deste cambio químico, pois non existen diferencias significativas entre as respostas de ámbolos dous estudos de casos. Incluso os resultados amosan unha maior incidencia entre as respostas do alumnado de Educación Primaria do elemento explicativo que fai referencia a que a cera arde. Catro alumnos da Educación Primaria sinalaron nas súas intervencións a cera como combustible fronte a un único alumno na Educación Secundaria Obrigatoria.

6.4.2 Descomposición térmica do azucre

Neste apartado establécese unha comparación entre as ideas e os modelos activados polos participantes das etapas pre-obrigatoria (Educación Infantil) e obrigatorias (Educación Primaria e Educación Secundaria Obrigatoria) do sistema educativo español ao interpretar a descomposición térmica do azucre.

Para cada estudo de casos, en primeiro lugar preséntanse as ideas expresadas polos estudantes durante o fenómeno. Estes resultados amósanse mediante táboas nas que se inclúen as categorías extraídas a partir da análise das intervencións dos participantes durante a discusión. Para cada categoría identifícanse os estudantes que fan mención aos elementos explicativos que contempla cada categoría. Tamén se indica a proporción de estudantes que fan mención a un determinado elemento explicativo nunha categoría. Na interpretación dos resultados hai que ter en conta que algúns estudantes mencionaron máis dunha idea ao longo da discusión arredor do fenómeno.

Na Táboa 6.20 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do derradeiro curso do segundo ciclo da Educación Infantil (EC1) ao interpretar a descomposición térmica do azucre nas distintas fases da intervención (predición, observación e explicación).

Táboa 6.20. Proporción (Φ) de participantes do último curso do segundo ciclo da Educación Infantil (EC1) que fan mención aos distintos elementos explicativos ao interpretar a descomposición térmica do azucre: Grupo A (N=5), grupo B (N=5), grupo C (N=4)

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
O azucre derrétese.	Amelia, Breixo, Brais, Bruno, Cibrán, Celso	6/14	Brais, Breixo, Branca	3/14	-	0/14
O azucre rompe.	Adrián	1/14	-	0/14	-	0/14
O azucre desfáise.	Amelia, Alexandra	2/14	-	0/14	-	0/14
O azucre transmútase noutras sustancias (mel, cervexa, refresco, auga...).	Celso, César	2/14	Alberto, Alexandra, Branca, Berta, Brais, Breixo, César, Carlos, Cibrán	9/14	Alicia, Brais, César, Cibrán	4/14
O azucre quéimase.	-	0/14	Celso	1/14	Brais, Breixo, Celso	3/14
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do azucre.	-	0/14	Adrián, Breixo, Branca, Brais, César, Carlos, Cibrán, Celso	8/14	Alberto, Alexandra, Brais	3/14
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do lume.	-	0/14	Cibrán	1/14	-	0/14

As categorías que aglutinan un maior número de mencións durante a fase de predición agrupan as respostas que fan referencia a que o azucre experimenta unha transformación de tipo físico. Cerca da metade dos nenos (6/14) mencionaron que ao azucre se ía derreter. Estes nenos consideraron a calor como o axente que desencadearía o cambio de estado. Un neno (1/14) fixo referencia a que o azucre se ía

romper e dúas nenas (2/14) sinalaron que o azucre se ía desfacer. Por outra banda, dous nenos (2/14) deron respostas que se encadraron na categoría de transmutación de sustancias, ao mencionar que o azucre se transformaría en auga.

Durante as posteriores fases da intervención na aula, a observación e a discusión acerca da posible explicación do fenómeno deron lugar a que un maior número de participantes deran respostas comparables á categoría de transmutación. Nove cativos (9/14) durante a fase de observación e catro nenos (4/14) durante a fase de explicación fixeron referencia nas súas intervencións a que o azucre se transformaba noutras sustancias diferentes como mel, cervexa ou certas bebidas carbónicas, dando respostas comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990). A categoría que fai referencia a que o azucre se derrete rexistra tres mencións durante a fase de observación (3/14) e ningunha mención durante a fase final da intervención.

Ademais, durante as dúas últimas fases da intervención, os participantes incorporaron nas súas respostas novos elementos explicativos en virtude das observacións realizadas. Un neno na fase de observación (1/14) e tres nenos (3/14) na fase de explicación mencionaron que o azucre se queimou. Esta dificultade para distinguir axeitadamente entre combustión e descomposición térmica por mor da cor negra dos produtos do cambio químico xa foi amplamente descrita noutros traballos como o de Gabel et al. (2001) no que participaron nenos de 8 a 13 anos.

Asemade, relacionadas coa observación de aparición de gotas de auga sobre o tubo de ensaio atópanse a categoría que fai referencia a que o embazamento se debe a gotas procedentes do azucre, e a categoría que fai referencia a que o embazamento se debe a gotas procedentes do lume. As respostas de oito nenos (8/14) na fase de observación e de tres nenos (3/14) na fase de explicación encadráronse na primeira categoría. Na segunda categoría unicamente se enmarcou a resposta dun neno (1/14) durante a fase de observación.

Na Táboa 6.21 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do sexto curso da Educación

Primaria (EC2) ao interpretar a descomposición térmica do azucre nas distintas fases a intervención (predición, observación e explicación).

Táboa 6.21. Proporción (Φ) de participantes do sexto curso da Educación Primaria (EC2) que fan mención aos distintos elementos explicativos ao interpretar a descomposición térmica do azucre: Grupo D (N=4), grupo E (N=4), grupo F (N=4)

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
O azucre derrétese.	Daniel, Diego, Eva, Eduardo, Elisa, Fabiola, Fátima, Felisa, Flor	9/12	Felisa	1/12	Darío, Felisa	2/12
O azucre evapórase.	Felisa	1/12	Eva	1/12	-	0/12
O azucre transmútase noutras sustancias (refresco, caramelo...).	Eduardo, Estrela	2/12	Darío, Diego, Eva, Elisa, Felisa, Fátima	6/12	Daniel, Fabiola, Flor	3/12
O azucre quéimase/tóstase.	Flor, Felisa	2/12	Darío, Eduardo, Eva, Fabiola	4/12	Felisa, Fabiola	2/12
O azucre oxídase.	-	0/12	Darío	1/12	-	0/12
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do azucre.	-	0/12	-	0/12	Darío	1/12
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do fume.	-	0/12	Fabiola	1/12	-	0/12

Do mesmo xeito que no caso do alumnado de Educación Infantil (EC1), as categorías que aglutinaron un maior número de mencións

durante a fase de predición son aquelas que fan referencia a que o azucre sofre unha transformación de tipo físico. Tres cuartas partes dos participantes (9/12) mencionaron que o azucre se ía derreter, introducindo a intervención da calor como a forza impulsora do cambio de estado. Unha nena (1/12) tamén fixo mención a que o azucre se ía evaporar. Dúas alumnas (2/12) deron respostas que se encadraron na categoría que fai referencia a que o azucre se queima ou se tosta. Estas respostas viñeron motivadas por experiencias anteriores na vida familiar relacionadas coa preparación de sobremesas. Dous participantes (2/12) deron respostas que se encadraron na categoría de transmutación, ao mencionar que o azucre se transformaría noutras sustancias.

Durante as posteriores fases da intervención na aula, a observación e a reflexión acerca dunha interpretación plausible para o fenómeno derivaron en que un maior número de participantes deron respostas comparables á categoría de transmutación. En concreto, a metade dos estudantes (6/12) na fase de observación e tres estudantes (3/12) na fase de explicación fixeron mención nas súas repostas a que o azucre se transmuta noutras sustancias como caramelo ou bebidas de cola. Tamén se incrementou a frecuencia de participantes que deron respostas comparables á categoría que fai referencia a que o azucre se tosta ou se queima, catro estudantes (4/12) na fase de observación e dous estudantes (2/12) na fase de explicación.

Con relación a aparición de gotas de auga sobre as paredes do tubo de ensaio, un estudante na fase de explicación (1/12) fixo referencia a que esas gotas proceden do azucre, se ben dá a entender que esa auga xa forma parte do azucre máis que tratarse dun produto da transformación química que ten lugar. Outra alumna na fase de observación (1/12) deu unha resposta que se encadra na categoría que fai referencia a que as gotas veñen do fume.

As categorías que contemplan unha transformación física para o azucre seguen vixentes nas posteriores etapas da intervención, se ben o número de mencións se reduce con relación a outras opcións. Unha alumna (1/12) na fase de observación e dous participantes (2/12) na fase de explicación sinalan que o azucre se derrete, mentres que unha

alumna (1/12) na fase de observación menciona que o azucre se evapora.

Na Táboa 6.22 preséntanse os elementos explicativos aos que fixeron mención os participantes do cuarto curso da Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) ao interpretar a descomposición térmica do azucre nas distintas fases da intervención (predición, observación e explicación). Ao igual que sucedera co alumnado de Educación Infantil (EC1) e co alumnado de Educación Primaria (EC2), as categorías que aglutinan un maior número de mencións durante a fase de predición son aquelas que fan referencia a que o azucre sofre unha transformación de tipo físico. Unha terceira parte (3/9) dos participantes mencionou que o azucre se ía derreter e un alumno (1/9) sinalou que o azucre ía aumentar de volume por mor da dilatación.

Dúas alumnas (2/9) deron respostas que se encadraron na categoría que fai referencia a que o azucre se transmuta noutras sustancias como o caramelo, e unha alumna (1/9) proporcionou unha resposta comparable á categoría que fai referencia a que o azucre se queima ou se tosta. Estas respostas viñeron motivadas por experiencias anteriores na vida familiar como a preparación de sobremesas.

Durante as posteriores fases da intervención na aula, máis da metade dos participantes seguiron dando respostas na fase de observación que se encadraron en categorías que fan referencia a que o azucre experimenta un cambio de tipo físico. Tanto na categoría relativa a que o azucre se derrete como na categoría que fai referencia a que o azucre se evapora encadráronse as respostas de tres participantes (3/9) durante a fase de observación. Dous alumnos (2/9) mencionaron que o azucre solidificaba. Porén, na fase de explicación a proporción de respostas nas que se contempla un cambio de tipo físico para o azucre decrece notablemente, habendo unicamente dous participantes (2/9) que mantiveron que o azucre mudaba de estado sólido a líquido.

Durante as fases de observación e explicación da intervención incrementouse notablemente o número de mencións na categoría que contempla a idea de que o azucre se queima ou se tosta. Catro alumnas (4/9) na fase de observación e tres alumnas (3/9) na fase de

explicación consideraron como indicios de que o azucre se queimara tanto a cor ennegrecida dos produtos da descomposición como o olor desprendido durante o proceso, que cualificaron como olor a “chamusco”.

Tres alumnas na fase de observación (3/9) e dúas alumnas (2/9) na fase de explicación deron respostas comparables ao modelo de transmutación. Pola súa banda, un alumno (1/9) na fase de explicación deu unha resposta que se encadra na categoría que fai referencia a que o azucre se oxida. O alumno baseou a súa interpretación na percepción visual do fenómeno ao relacionar a cor que ía adquirindo o sistema material coa coloración pardo avermellada do óxido de ferro que se forma cando o ferro se oxida ao reaccionar este elemento químico co osíxeno do aire.

Un alumno na fase de observación (1/9) e cinco participantes (5/9) na fase de explicación deron respostas comparables coa categoría que fai referencia a que o azucre experimenta un cambio químico, sendo unha das categorías que aglutina un maior número de mencións na fase final da intervención. Este grupo de participantes deron unha descrición macroscópica do fenómeno consistente coa explicación científica de dito proceso, ao mencionar de xeito explícito nas súas respostas que o azucre experimentara un cambio químico obténdose auga entre os produtos da reacción.

Con relación a aparición de gotas de auga sobre as paredes do tubo de ensaio, unha estudante (1/9) na fase de explicación fixo referencia a que as gotas procedían do azucre, se ben deu a entender que esa auga xa formaba parte do azucre máis que tratarse dun produto da transformación química que ten lugar. Outro alumno (1/9) na fase de explicación deu unha resposta que se encadra na categoría que fai referencia a que as gotas proceden do vapor de auga do aire do ambiente. Dúas alumnas (2/9) deron respostas consistentes coa explicación científica do fenómeno ao mencionar que a auga constitúe un dos produtos da reacción química.

Táboa 6.22. Proporción (Φ) de participantes do cuarto curso da Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) que fan mención aos distintos elementos explicativos ao interpretar a descomposición térmica do azucre: Grupo G (N=3), grupo H (N=3), grupo I (N=3)

Categoría	Predición		Observación		Explicación	
	Participantes	Φ	Participantes	Φ	Participantes	Φ
O azucre derrétese.	Graciela, Gisela, Irene	3/9	Graciela, Helena, Iris	3/9	Héctor, Idaira	2/9
O azucre evapórase.	-	0/9	Graciela, Gisela, Iris	3/9	-	0/9
O azucre solidifica.	-	0/9	Héctor, Hugo	2/9	-	0/9
O azucre dilata.	Héctor	1/9	-	0/9	-	0/9
O azucre transmútase noutras sustancias (caramelo...).	Helena, Irene	2/9	Héctor, Irene, Iris	3/9	Irene, Idaira	2/9
O azucre queímase/tóstase.	Graciela	1/9	Graciela, Gloria, Iris, Irene	4/9	Iris, Idaira, Gloria	3/9
O azucre oxídase.	-	0/9	-	0/9	Héctor	1/9
O azucre sofre un cambio químico (descrición macro).	-	0/9	Hugo	1/9	Héctor, Hugo, Helena, Idaira, Irene	5/9
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do azucre.	-	0/9	-	0/9	Graciela	1/9
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio polo vapor de auga do ambiente.	-	0/9	-	0/9	Héctor	1/9
Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio polo vapor de auga que se libera na reacción.	-	0/9	-	0/9	Helena, Idaira	2/9

A continuación, na Táboa 6.23 relaciónanse as categorías que emerxeron durante a interpretación das respostas dadas polos

estudantes durante a discusión en grupo e os modelos para a descrición dos cambios químicos xa descritos na literatura (Andersson, 1990; Watson et al., 1997). Consideráronse así cinco niveis de sofisticación (Hadenfeldt et al., 2014) para a interpretación da descomposición térmica do azucre.

Táboa 6.23. Modelos de cambio químico e categorías asociadas durante a interpretación da descomposición térmica do azucre segundo o nivel de sofisticación (RQ: reacción química, RQ+T: transición entre transmutación e reacción química, T: transmutación, M: modificación, D: desaparición, X: descritivo)

Nivel de sofisticación	Modelo	Categorías
Nivel 3	RQ	O azucre sofre un cambio químico (MACRO). Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio polo vapor de auga que se libera na reacción (MACRO).
Nivel 2/3	RQ+T	O azucre oxídase. O azucre quéimase/ tóstase.
Nivel 2	T	O azucre transmútase noutras sustancias (mel, cervexa, refresco, auga...) Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do lume ou do fume.
	M	O azucre derrétese, evapórase, solidifica, dilata, rompe e/ou desfáise. Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio polo vapor de auga do ambiente. Prodúcese bafo sobre o tubo de ensaio por gotas que veñen do azucre.
Nivel 1	D	-
Nivel 0	X	-

Na Táboa 6.24 establécese unha análise comparativa dos modelos activados polos participantes de Educación Infantil (EC1), Educación Primaria (EC2) e Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) ao intentar interpretar o que sucede cando se quenta azucre. Cómpre sinalar que, para comparar os modelos e niveis acadados polos participantes, adxudicouse a cada estudante o nivel máis alto dos elementos explicativos aos que fixo mención ao longo da intervención.

Como se observa na Táboa 6.24, a meirande parte dos participantes de Educación Infantil (EC1) situáronse no nivel 2 de sofisticación (N2). Seis participantes mencionaron que o azucre se ía converter noutras sustancias coas que para eles os produtos da

descomposición térmica tiñan unha aparencia semellante como a mel ou a cervexa, dando respostas comparables ao modelo de transmutación de Andersson (1990), e tres alumnos mencionaron que o azucre se ía derreter, desfacer ou romper, dando respostas comparables ao modelo de modificación. Tres participantes de Educación Infantil chegaron a acadar un nivel de transición entre o modelo de transmutación e reacción química ao interpretar que o azucre se queimara.

Táboa 6.24. Modelos expresados polos participantes de Educación Infantil (EC1), Educación Primaria (EC2) e Educación Secundaria Obrigatoria (EC3) e niveis de progresión asociados ao interpretar a descomposición térmica do azucre (RQ: reacción química, RQ+T: transición entre transmutación e reacción química, T: transmutación, M: modificación, D: desaparición, X: descritivo)

Nivel de sofisticación	Modelo	Educación Infantil (EC1)	Educación Primaria (EC2)	Educación Secundaria (EC3)
Nivel 3	RQ			Helena (Macro), Héctor (Macro), Hugo (Macro), Gloria (Macro), Graciela (Macro), Irene (Macro), Idaira (Macro)
Nivel 2/3	RQ+T	Brais, Breixo, Celso	Darío, Eduardo, Eva, Estrela	
Nivel 2	T	Alberto, Alexandra, Branca, Cibrán, Carlos, César	Daniel, Diego, Elisa, Fátima, Flor	Gisela
	M	Amelia, Adriana, Bruno		
Nivel 1	D			
Nivel 0	X			

En canto ao alumnado de Educación Primaria (EC2) obsérvase unha feble progresión nas interpretacións desta experiencia con relación ao alumnado de Educación Infantil (EC1). As respostas dunha maior proporción de estudantes, un total de catro, chegaron a situarse no nivel de transición entre transmutación e reacción química, e pese a que tamén houbo varios estudantes que permaneceron no nivel 2 da progresión (N2), as respostas destes alumnos chegaron a ser

comparables ao modelo de transmutación, o que indica que estes participantes nalgún momento da intervención interpretaron o fenómeno como un cambio no tipo de sustancia, idea que podemos considerar máis próxima ao concepto de reacción química.

Polo que respecta aos estudantes de Educación Secundaria Obrigatoria (EC3), si se observou unha progresión notable nas interpretacións dos participantes con relación aos demais estudos de casos, xa que todos os estudantes agás unha alumna foron quen de situarse no nivel 3 de progresión (N3) durante a discusión. Cómpre sinalar que, pese a ser xa introducido no ámbito académico o modelo atómico-molecular como unha ferramenta para predicir e explicar as transformacións químicas da materia, ningún estudante describiu o fenómeno empregando a linguaxe do mundo microscópico.



6.5 COMPARATIVA DOS ESTUDOS DE CASOS EC3 E EC4

Neste apartado darase resposta ao Obxectivo 4 (O4) de investigación ao presentarse unha análise na que se comparan os modelos que activaron os participantes do sistema educativo español (EC3) e do sistema educativo sueco (EC4) ante a interpretación de dous cambios químicos habituais na vida diaria coa finalidade de valorar en que medida o deseño do currículo favorece a apropiación por parte dos estudantes dun modelo para a interpretación dos cambios químicos consistente co coñecemento científico. Lembremos que os participantes de ambos estudos de casos se atopaban cursando no momento da intervención o último dos cursos (15 a 16 anos) que establece a escolarización obrigatoria de cada país.

Como ferramenta para comparar o desempeño dos estudantes estableceuse unha asociación entre os modelos para a interpretación dos cambios químicos que activaron os participantes, e os niveis propostos no traballo de Hadenfeldt et al. (2014). Ditos niveis constitúen unha xerarquía ou progresión de aprendizaxe que permite describir como se desenvolve a comprensión acerca das propiedades químicas das substancias e as transformacións químicas na materia. Esta ferramenta de análise xa foi descrita amplamente no apartado 5.4.4. do Capítulo 5.

Presentarase en primeiro lugar a comparativa en relación co fenómeno de combustión, e posteriormente analizaranse os resultados correspondentes á descomposición térmica do azucre.

6.5.1 Combustión dunha candea

Neste apartado establécese unha comparación entre os modelos activados polos estudantes do sistema educativo español e sueco cando intentan dar sentido a un fenómeno da vida diaria como a combustión dunha candea. Esta comparativa do desempeño do alumnado de cada país permitirá dar resposta ao Obxectivo 4 (O4) da tese.

No Estudo de Casos 3 (EC3) participaron dez estudantes do 4º curso (15 a 16 anos) da Educación Secundaria Obrigatoria en España, e consta de tres grupos nomeados coas letras G, H e I. No Estudo de Casos 4 (EC4) participaron doce estudantes do noveno curso (15 a 16

anos) da educación obrigatoria en Suecia, e consta de tres grupos nomeados coas letras L, M e N. Durante esta actividade da intervención estiveron ausentes Héctor e Iris, dous participantes do Estudo de Casos 3 (EC3).

Nas Táboas 6.25 a 6.29 móstrase unha análise conxunta do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) nas que se indica o nivel de progresión para a interpretación dos cambios químicos acadado por cada participante durante a predición e as posteriores fases da intervención ao intentar describir os diferentes aspectos da realidade do fenómeno de combustión dunha candeia (extinción da chama, cambios na cera, cambios na mecha, e condensación de auga sobre as paredes do recipiente). En cada táboa tamén se indica a proporción de participantes (Φ) que se sitúan en cada nivel de progresión. Para a construción destas táboas tivéronse en conta as dúas fontes de datos dispoñibles, isto é, as transcripcións das discusións en grupo e as respostas aos cuestionarios.

En base aos resultados obtidos, pódese concluír que non existen diferencias significativas entre as interpretacións dos estudantes do sistema educativo español (EC3) e do sistema educativo sueco (EC4) durante a interpretación da combustión dunha candeia. Na Táboa 6.25 obsérvase bastante hexemonía nas predicións do alumnado, se ben algúns estudantes do sistema educativo sueco exhibiron un maior desempeño nesta primeira fase da intervención. Tres cuartas partes dos participantes (15/20) de ambos estudos de casos estableceron predicións para a combustión dunha candeia en termos de transmutación, situándose no segundo nivel de progresión (N2) para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014). Seis de oito participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e nove de doce estudantes do Estudo de Casos 4 (EC4) incluíron nas súas predicións do fenómeno a idea do osíxeno como alimento para a chama.

Dous participantes do sistema educativo sueco chegaron a situarse no nivel 3 de progresión (N3) durante a primeira fase da intervención. Estes participantes deron respostas comparables a un modelo de reacción química macroscópico ao facer referencia a unha interacción entre o combustible da candeia e o osíxeno do aire para dar lugar á

formación de novas sustancias. Tres participantes, dúas alumnas pertencentes ao Estudo de Casos 3 (EC3) e un alumno pertencente ao Estudos de Casos 4 (EC4), manifestaron un desempeño máis baixo que a media. Dúas alumnas do sistema educativo español situáronse no nivel 1 de progresión (N1), dando respostas comparables ao modelo de desaparición ao predicir que a candea se ía apagar debido a unha falta de osíxeno. Un alumno do sistema educativo sueco situouse no nivel máis baixo de progresión (N0), ao non activar ningún modelo para a interpretación da combustión dunha candea nesta primeira fase da intervención, limitándose os seus aportes a meras descrições do observado. En xeral, este alumno amosou un grao de implicación moi baixo na actividade, limitándose a describir a realidade observada.

Táboa 6.25. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao predicir a combustión dunha candea: EC3 (N=8) e EC4 (N=12)

Explicación da predición					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación Secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ			Mario (MACRO), Nerea (MACRO)	2/12
Nivel 2/3	RQ+T				
Nivel 2	T	Gloria, Graciela, Helena, Hugo, Irene, Idaira	6/8	Leticia, Lidia, Laura, Martina, Mateo, Manuel, Natalia, Nicolás, Nuria	9/12
	M				
Nivel 1	D	Gisela, Ingrid	2/8		
Nivel 0	X			Lucas	1/12

Unha vez desenvolto o experimento, os participantes do sistema educativo español (EC3) construíron explicacións para máis aspectos da realidade que os participantes do sistema educativo sueco (EC4). Estes últimos centráronse fundamentalmente en explicar a causa de que a candea se apague (ver Táboa 6.26), mentres que o alumnado do Estudo de Casos 3 (EC3) intentou buscar unha posible resposta para máis observacións como a aparición de auga no recipiente (ver Táboa 6.27), os cambios na cera (ver Táboa 6.28) ou os cambios na mecha (ver Táboa 6.29). Cómpre sinalar que estas diferencias poden proceder

do grao de intervención da profesora e da investigadora durante a implementación da proposta. Ambas exerceron un papel máis activo durante a intervención do Estudo de Casos 3 (EC3) formulando preguntas que retaban os modelos dos estudantes e dirixindo a observación do fenómeno nalgúns intres da intervención, mentres que os participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) gozaron de máis autonomía.

Na Táboa 6.26 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para explicar o feito de que a candeia se apaga despois dun tempo de ser tapada cun recipiente. Para explicar esta observación, unha participante do Estudos de Casos 3 (1/8) e sete participantes do Estudo de Casos 4 (7/12) continuaron activando o mesmo modelo para a interpretación dos cambios químicos. Dos oito alumnos que mantiveron o seu modelo inicial, sete (Helena, Martina, Mateo, Natalia, Nicolás, Nuria e Nerea) deron respostas comparables ao modelo de transmutación. A idea máis reiterada foi a do osíxeno como alimento para o lume, se ben a alumna do Estudos de Casos 3 (EC3) incorporou unha nova idea ao referirse a unha transmutación de sustancias, neste caso de O_2 en CO_2 .

Táboa 6.26. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar a extinción da chama na candeia: EC3 (N=8) e EC4 (N=12)

Feito: Extinción da chama					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Hugo (MACRO)	1/8	Mario (MACRO)	1/12
Nivel 2/3	RQ+T	Gloria, Graciela, Idaira	3/8	Leticia, Manuel	2/12
Nivel 2	T	Gisela, Helena, Ingrid	3/8	Martina, Mateo, Natalia, Nicolás, Nuria, Nerea	6/12
	M				
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Por outra banda, despois de observar o devir do fenómeno, oito participantes (Hugo, Gloria, Graciela, Idaira, Gisela, Ingrid, Leticia e Manuel) activaron modelos máis sofisticados para interpretar a

combustión dunha candea. Tres estudantes do sistema educativo español (3/8) e dous estudantes do sistema educativo sueco (2/12) situáronse nun nivel de transición entre o modelo de transmutación e o de reacción química. Estes alumnos, pese a manter a idea do osíxeno como alimento para a chama, incorporaron nas súas respostas novos elementos que deixar entrever unha incipiente interacción entre a candea e o osíxeno do aire.

Na Táboa 6.27 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para o feito correspondente á condensación de auga sobre o recipiente co que se tapa a candea. Unicamente unha participante do Estudo de Casos 4 (EC4) incorporou esta observación nas súas explicacións. Esta alumna, Leticia, situouse no terceiro nivel de progresión (N3) ao considerar a auga como un dos produtos da reacción de combustión. As dúas estudantes do Estudo de Casos (EC3) que intentaron explicar esta observación tiveron dificultades para identificar a auga como un dos produtos da reacción de combustión. Unha alumna, Idaira, explicou este feito en termos de transmutación de substancias, neste caso o O_2 transmutárase en CO_2 . Outra alumna deste estudo de casos, Helena, explicou este feito en termos de modificación, considerando a aparición de gotas de auga sobre as paredes do recipiente que tapa a candea como o resultado da condensación do vapor de auga do aire do ambiente.

Táboa 6.27. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar a aparición de auga sobre o recipiente: EC3 (N=8) e EC4 (N=12)

Feito: Aparición de auga sobre o recipiente					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ			Leticia (MACRO)	1/12
Nivel 2/3	RQ+T				
Nivel 2	T	Idaira	1/8		
	M	Helena	1/8		
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Na Táboas 6.28 e na Táboa 6.29 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para explicar os cambios

na cera e para os cambios na mecha, respectivamente. Ningún participante do Estudo de Casos 4 (EC4) deu unha explicación explícita para os cambios experimentados pola cera e a mecha.

Táboa 6.28. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar os cambios na cera: EC3 (N=8) e EC4 (N=12)

Feito: Cambios na cera					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Hugo (MACRO)	1/8		
Nivel 2/3	RQ+T				
	T				
Nivel 2	M	Gloria, Graciela, Helena, Irene, Idaira	5/8		
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Entre os participantes do sistema educativo español (EC3) que aportaron explicacións para estes feitos, observouse que a meirande parte dos estudantes tiveron dificultades para identificar o material combustible nunha candeia, resultados que concordan cos de outros traballos (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997)

Táboa 6.29. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar os cambios na mecha: EC3 (N=8) e EC4 (N=12)

Feito: Cambios na mecha					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ				
Nivel 2/3	RQ+T				
	T				
Nivel 2	M	Gloria, Graciela, Helena, Irene, Idaira	5/8		
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Para a maioría dos participantes (5/8) do Estudo de Casos 3 (EC3) unicamente ardía a mecha. Para o alumnado que exhibiu esta percepción do fenómeno, a cera exercería unha función de soporte ou axente que retardaría a combustión. Isto levou a que activasen un modelo de modificación para interpretar os cambios na cera por considerar que este elemento da candeia unicamente se derretía, de maneira que a súa composición permanecía invariable e soamente se vían alteradas as súas propiedades físicas como o estado da materia. Unicamente un alumno do Estudo de Casos 3 (EC3), Hugo, recoñeceu que a cera ardía, situándose no terceiro nivel de progresión (N3) para a interpretación deste aspecto do fenómeno.

6.5.2 Descomposición térmica do azucre

Neste apartado establécese unha comparación entre os modelos activados polos estudantes do sistema educativo español e sueco cando intentan dar sentido a un fenómeno da vida diaria como a descomposición térmica do azucre. Esta comparativa do desempeño do alumnado de cada país permitirá dar resposta ao Obxectivo 4 (O4) desta investigación.

O Estudo de Casos 3 (EC3) consta de dez estudantes do 4º curso (15 a 16 anos) da Educación Secundaria Obrigatoria en España, e nel distínguense tres grupos de traballo nomeados coas letras G, H e I. O Estudo de Casos 4 (EC4) consta de doce estudantes do noveno curso (15 a 16 anos) da educación obrigatoria en Suecia, e nel distínguense tres grupos nomeados coas letras L, M e N. Durante esta actividade da intervención estivo ausente Ingrid, unha participante do Estudo de Casos 3 (EC3).

Nas Táboas 6.30 a 6.34 móstrase unha análise conxunta do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) nas que se indica o nivel de progresión para a interpretación dos cambios químicos acadado por cada participante durante a predición e as posteriores fases da intervención ao intentar describir os diferentes aspectos da realidade do fenómeno de descomposición térmica do azucre (olor, desprendemento de vapor, residuos negros, e condensación de auga sobre as paredes do tubo de ensaio). En cada táboa tamén se indica a proporción de participantes (Φ) que se sitúan

en cada nivel de progresión. Para a construción desta táboa tivéronse en conta as dúas fontes de datos dispoñibles, as transcripcións da discusión en grupo e as respostas aos cuestionarios.

Contrariamente ao que sucedera durante a interpretación da combustión dunha candeia no interior dun recipiente invertido, na que non existiron diferencias significativas entre o desempeño dos participantes españois (EC3) e suecos (EC4), nesta segunda experiencia si se observou unha maior diverxencia.

En base aos resultados obtidos pódese concluír que a maioría dos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) estableceron predicións para a descomposición térmica do azucre en termos de modificación de substancias (ver Táboa 6.30), situándose no segundo nivel de progresión (N2) para a comprensión das propiedades e os cambios químicos proposto por Hadenfeldt et al. (2014).

Táboa 6.30. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao predicir a descomposición térmica do azucre: EC3 (N=9) e EC4 (N=12)

Explicación da predición					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ			Leticia (MACRO), Mario (MICRO), Manuel (MICRO), Mateo (MICRO)	4/12
Nivel 2/3	RQ+T				
	RQ+M			Nicolás	1/12
Nivel 2	M+T	Irene, Idaira	2/9		
	T	Helena	1/9		
	M	Gloria, Graciela, Gisela, Hugo, Héctor, Iris	6/9	Lidia, Laura, Lucas, Martina, Natalia, Nerea, Nuria	7/12
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Como se reflicte na Táboa 6.30, sete estudantes pertencentes ao sistema educativo sueco (7/12) e seis participantes pertencentes ao sistema educativo español (6/9) activaron inicialmente un modelo de modificación para describir o que pensaban que sucedía cando se

quentaba o azucre. Entre o alumnado sueco (EC4) cuxas predicións se adscribiron ao modelo de modificación, seis participantes fixeron referencia nas súas respostas a que co aporte de calor o azucre ía mudar do estado sólido ao estado líquido, e unha alumna, Martina, elaborou unha predición que supuxo a translación de propiedades macroscópicas ao mundo microscópico ao mencionar que os átomos que non fosen de carbono se ían evaporar. En canto ao alumnado do sistema educativo español (EC3) que se situou neste modelo, catro participantes fixeron referencia a que o azucre se ía derreter, mentres que dous alumnos, Hugo e Héctor, pensaban que o azucre se ía dilatar coa calor.

Tamén se situaron no nivel 2 de progresión (N2) as predicións de dúas alumnas (2/9) do sistema educativo español (EC3), as cales mencionaron que o azucre se ía derreter e se ía transformar en caramelo. Dado que a partir dos datos dispoñibles non existe información suficiente para inferir se estas participantes pensaban no caramelo como azucre en estado líquido ou como unha substancia distinta, as súas predicións consideráronse comparables a un modelo híbrido entre o de modificación e o de transmutación.

Sen embargo, cómpre destacar que xa nesta primeira fase da intervención houbo catro alumnos (4/12) do Estudo de Casos 4 (EC4) que chegaron a situarse no nivel máis alto de progresión (N3), amosando un maior desempeño que o alumnado do sistema educativo español (EC4). Unha alumna do grupo L (EC4-L) activou un modelo de reacción química de tipo macroscópico para interpretar o que ía suceder ao quentar azucre, se ben describiu o devir do fenómeno como unha combustión no canto de consideralo como unha descomposición térmica. Por outra parte, destaca o feito de que tres alumnos (3/12) suecos (EC4-M) xa deron, desde un inicio, unha predición compatible co coñecemento científico activando un modelo de reacción química baixo un esquema de interpretación microscópico. Estes participantes fixeron referencia nas súas predicións a que o osíxeno e o hidróxeno presentes na estrutura química do azucre se combinarían para formar auga, quedando unicamente carbono no tubo de ensaio. Estes estudantes elaboraron estas predicións sustentándose na composición

química do azucre e contemplando a idea de conservación dos elementos.

Ao final da intervención, unha vez observado o devir do fenómeno, case todos os participantes de ambos estudos de casos construíron explicacións para a descomposición térmica (ver Táboa 6.31) e os distintos aspectos do proceso (ver Táboa 6.32 a Táboa 6.34) nas que se intúe a activación dun modelo de reacción química, se ben existiron diferencias no desempeño dos estudantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4).

Táboa 6.31. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar o fenómeno de descomposición térmica: EC3 (N=9) e EC4 (N=12)

Feito: Descomposición térmica					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Gloria (MACRO), Graciela (MACRO), Gisela (MACRO), Hugo (MACRO), Helena (MACRO), Héctor (MACRO), Idaira (MACRO), Iris (MACRO), Irene (MACRO)	9/9	Leticia (MICRO), Lidia (MICRO), Laura (MICRO), Mateo (MICRO), Mario (MICRO), Manuel (MICRO)	6/12
Nivel 2/3	RQ+M			Natalia, Nicolás, Nerea	3/12
Nivel 2	M+T				
	T				
	M			Martina, Nuria	2/12
Nivel 1	D				
Nivel 0	X			Lucas	1/12

En concreto, como se recolle na Táboa 6.31, todos os participantes do sistema educativo español (9/9) e seis estudantes do sistema educativo sueco (6/12) deron respostas comparables ao modelo de reacción química, situándose no terceiro nivel de progresión (N3). Non obstante, dos estudantes españois que chegaron a activar un modelo de reacción química, catro participantes (4/9), entre os que se atopan Gloria, Gisela, Graciela e Iris, describiron o fenómeno como unha combustión baseándose nos cambios

observables, isto é, a cor ennegrecida dos restos da descomposición térmica, que non foron quen de asociar con carbono, e a aparición de auga sobre as paredes do tubo de ensaio, que consideraron un produto da combustión. Estes resultados nos que se expoñen as dificultades dos estudantes para diferenciar adecuadamente ente combustión e descomposición térmica son similares aos obtidos noutros traballos (e. g. Gabel et al., 2001).

Outro estudante español, Héctor (EC3-H), explicou o fenómeno en base a unha interacción química entre o azucre e o aire, facendo referencia explícita a que, en ausencia de aire, o azucre experimentaría unha transformación de tipo físico. A introdución dun segundo axente que participa na reacción evidencia as dificultades dos estudantes para asumir aquelas transformacións na materia que involucran a un único reactivo (Carbonell & Furió, 1987). Como sinala Caamaño (2019), a interpretación das descomposicións require establecer hipóteses arredor da estrutura química das sustancias, e diversos estudos ilustraron as dificultades do alumnado para transitar entre os niveis de representación microscópico, macroscópico e simbólico (Lacolla et al., 2014).

En cambio, todos os estudantes suecos que se situaron nun modelo de reacción química (6/12) construíron explicacións consistentes coa interpretación científica do fenómeno, describindo a descomposición térmica como unha reorganización dos átomos ou elementos que integran o azucre para dar lugar á formación de novas sustancias. A diferenza dos estudantes pertencentes ao sistema educativo español (EC3), os cales fundamentaron as súas explicacións esencialmente nos cambios observados, os participantes do sistema educativo sueco (EC4), como suxiren Lacolla et al. (2014), elaboraron unha explicación para o fenómeno baseándose na estrutura química do azucre e considerando que os produtos han de conter aos reactivos nunha combinación química diferente.

O currículo sueco establece na etapa de 10 a 13 anos unha aproximación ao modelo corpuscular da materia para describir e explicar a estrutura da materia, mentres que no currículo español non se contempla a introdución deste modelo ata ben entrada a Educación Secundaria Obrigatoria. Estes resultados suxiren a necesidade de

introducir unha aproximación ao modelo corpuscular da materia desde idades temperás para ir construíndo paulatinamente modelos para a interpretación das transformacións na materia cada vez máis sofisticados. A organización dos contidos curriculares ha de garantir unha continuidade na aprendizaxe, de modo que os modelos e ideas dos estudantes progresen desde unha visión primitiva ata a adquisición das grandes ideas da ciencia (Prieto et al., 2002).

Ademais, tres estudantes do sistema educativo sueco (3/12) deron respostas que podemos considerar indicadoras de que activaron un modelo híbrido entre o de modificación e o de reacción química. As explicacións destes alumnos (EC3-N) suxiren que o azucre contén auga que se evapora cando o azucre se quenta, quedando unicamente carbono no tubo de ensaio, de aí a cor negra dos restos da descomposición. Porén, os datos dispoñibles non aportan información suficiente para coñecer se os alumnos pensaban no azucre como unha especie de substancia humedecida, o que aproximaría as súas interpretacións ao modelo de modificación, ou como un hidrato, o que aproximaría as súas interpretacións ao modelo de reacción química.

Tamén cabe sinalar que houbo tres participantes do Estudo de Casos 4 (EC4) que amosaron unha implicación na actividade moi baixa en relación aos demais compañeiros de traballo. Unha destas alumnas (EC4-M) mantivo durante toda a intervención o modelo de modificación con atribución de propiedades macroscópicas aos átomos que xa activara desde un inicio. Outra alumna (EC4-N) tamén deu respostas que podemos considerar indicadoras de que activou en todo momento un modelo de modificación de Andersson (1990) ao mencionar que o azucre se derretera, e un alumno (EC4-L) situouse no nivel máis baixo de progresión (N0) ao aportar unicamente respostas de tipo descritivo.

Na Táboas 6.32 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para explicar os residuos negros da descomposición. Seis alumnos do sistema educativo sueco (6/12) explicaron a cor ennegrecida dos produtos da descomposición facendo referencia a que como consecuencia da reacción química no tubo de ensaio quedaba unicamente carbono, un dos elementos constituintes do azucre. Entre os participantes do sistema educativo español, un

alumno (EC3-H), Hugo, considerou o cambio de cor como o resultado dun cambio químico no azucre durante o cal se liberaron unhas substancias e outras permaneceron no tubo de ensaio, dando lugar a ese cambio de cor. Entre os demais participantes deste estudo de casos (EC3), tres alumnas (Gloria, Graciela e Irene) identificaron o cambio de cor co feito de que o azucre se queimara, e un alumno, Héctor (EC3-H) relacionou o cambio de cor coa posibilidade de que o azucre se oxidara.

Táboa 6.32. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar os restos negros da descomposición térmica: EC3 (N=9) e EC4 (N=12)

Feito: Residuos negros					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Gloria (MACRO), Graciela (MACRO), Hugo (MACRO), Héctor (MACRO), Irene (MACRO)	5/9	Leticia (MICRO), Lidia (MICRO), Laura (MICRO), Mateo (MICRO), Mario (MICRO), Manuel (MICRO)	6/12
Nivel 2/3	RQ+M				
Nivel 2	M+T				
	T				
	M				
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Na Táboas 6.33 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para explicar a aparición de auga sobre as paredes do tubo de ensaio. Sete participantes do sistema educativo español (7/12) activaron un modelo de reacción química para interpretar este aspecto da realidade, se ben houbo diferencias no desempeño deste grupo de estudantes. Catro participantes (4/12), entre os que se atopan Hugo, Helena, Irene e Idaira, si identificaron a auga como un dos produtos da reacción de descomposición térmica. Sen embargo, as demais participantes (3/12) identificaron o vapor de auga como un dos produtos da combustión. Esta interpretación é consistente coa idea que mantiveron durante as últimas fases da intervención, xa que para estas alumnas (EC3-G) o azucre queimárase.

Estas alumnas non sentiron a necesidade de reestruturar os seus esquemas de pensamento, pois para elas todas as observacións eran consistentes con esta interpretación do fenómeno.

Asemade, entre unha certa proporción do alumnado español (3/9), evidenciouse unha dificultade para transitar cara modelos máis sofisticados, pois observouse como tres alumnos mantiveron durante as primeiras instancias da observación os seus modelos iniciais de modificación e transmutación. Dúas alumnas, Graciela (EC3-G) e Iris (EC3-I), explicaron a aparición de gotas como derivadas dunha evaporación do azucre, o que as sitúa nun modelo híbrido de transmutación e modificación, xa que o azucre cambiaría de estado físico e tamén se transformaría noutra substancia diferente, neste caso en auga. Outro alumno, Héctor (EC3-H), explicou a aparición de gotas como unha condensación de vapor de auga do ambiente.

Táboa 6.33. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar a aparición de auga nas paredes do tubo de ensaio: EC3 (N=9) e EC4 (N=12)

Feito: Aparición de auga nas paredes do tubo de ensaio					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación Secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Gloria (MACRO), Graciela (MACRO), Gisela (MACRO), Helena (MACRO), Hugo (MACRO), Irene (MACRO), Idaira (MACRO)	7/9	Laura (MICRO), Leticia (MICRO), Lidia (MICRO), Mateo (MICRO), Mario (MICRO), Manuel (MICRO)	6/12
Nivel 2/3	RQ+M			Natalia, Nicolás, Nerea	3/12
Nivel 2	M+T	Graciela, Iris	2/9		
	T				
	M	Héctor	1/9		
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

En canto ao alumnado do sistema educativo sueco (EC4), seis participantes (6/12) explicaron a formación de auga en termos dunha reorganización dos átomos de hidróxeno e osíxeno presentes na estrutura química do azucre. Non obstante, houbo tres alumnos (EC4-

N) que para interpretar este aspecto do fenómeno utilizaron ideas comparables a un modelo híbrido de modificación e reacción química, ao mencionar que a aparición de auga sobre as paredes do tubo de ensaio era debida a unha evaporación de auga, como se este composto xa estivese presente como tal no azucre. Algunhas alumnas do grupo L, entre as que se atopan Leticia e Lidia, tamén mencionaron unha idea semellante nalgúns momentos da intervención.

Na Táboa 6.34 compáranse as interpretacións dos participantes de ambos estudos de casos para explicar os olores ou vapores desprendidos durante o fenómeno.

Táboa 6.34. Niveis de progresión acadados polos participantes do Estudo de Casos 3 (EC3) e do Estudo de Casos 4 (EC4) ao explicar o olor/vapores: EC3 (N=9) e EC4 (N=12)

Feito: Olor/ Vapores					
Nivel de sofisticación	Modelo	Educación secundaria en España (EC3)	Φ	Educación secundaria en Suecia (EC4)	Φ
Nivel 3	RQ	Irene (MACRO), Idaira (MACRO)	2/9		
Nivel 2/3	RQ+M				
Nivel 2	M+T				
	T			Leticia, Lidia, Laura	3/12
	M				
Nivel 1	D				
Nivel 0	X				

Na Táboa 6.34 vese como poucos participantes consideraron este aspecto da realidade. Asemade, neste caso si se observou un maior desempeño do alumnado do sistema educativo español (EC3), xa que dúas participantes (2/9) explicaron este feito apuntando a un cambio químico no azucre durante o cal se formaban gases, dos cales uns condensaban sobre as paredes do recipiente (auga) e outros se liberaban ao medio producindo olor a caramelo. En cambio, tres alumnas do sistema educativo sueco (EC4-L) fixeron referencia a unha transmutación de parte de vapor de auga en CO₂, situándose no segundo nivel de progresión durante a explicación deste aspecto da realidade.

III CONCLUSIÓN





7 CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS

7.1 INTRODUCTION

This chapter begins by drawing the main conclusions from this investigation, before going on to present the main educational implications that have been derived from the conclusions. Subsequently some of the final considerations related to the limitations of the study and the aspects that could be improved have been mentioned. We have also suggested future lines of research based on the findings from this study.

This thesis aimed to analyse the achievements of students in the modelling and using evidence processes in their interpretations of everyday phenomena in which transformation of matter occurs, such as a burning candle and the thermal decomposition of sugar. The participants were students from the sixth year of Early Childhood Education in Spain (EC1), students from the sixth year of Primary Education in Spain (EC2), students from the fourth year of Compulsory Secondary Education in Spain (EC3), and students from the ninth year of Compulsory Education in Sweden (EC4). This goal was explored through four overarching research objectives (O1 to O4) with their related research questions (RQ1 to RQ8):

Objective 1 (O1). *To describe the types of explanations that Early Childhood Education participants and Primary Education participants construct when interpreting phenomena in which transformation of matter occurs.* This objective was addressed through the following research questions:

RQ1. What types of explanations do Early Childhood Education participants and Primary Education participants use when interpreting

phenomena in which transformation of matter occurs? Conclusions 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 17 refer to this research question, which has been addressed in Chapter 4.

RQ2. To what extent can the explanations of the Early Childhood Education participants and Primary Education participants be considered as indicators of the existence of a precursor model about transformations of matter? Conclusion 8 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 4.

Objective 2 (O2). *To identify the mental models that secondary education participants use when interpreting phenomena in which transformation of matter occurs.* This issue was examined through the following research questions:

RQ3. Which mental models are used by secondary education participants to predict and explain phenomena in which transformation of matter occurs? Conclusions 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 and 18 refer to this research question, which has been addressed in Chapter 5.

RQ4. To what extent do observation, reflection, and discussion about phenomena in which the transformation of matter occurs contribute to the development of the participants' initial mental models? Conclusion 19 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 5.

Objective 3 (O3). *To compare the explanations and models that participants from the pre-compulsory (Early Childhood Education) and Compulsory Educational stages (Primary Education and Compulsory Secondary Education) in Spain activate when interpreting everyday chemical changes.* This objective has been explored through the following research questions:

RQ5. Are there any differences between the ideas and models that the participants of the Spanish educational system activate when interpreting everyday chemical changes throughout their formal

learning? Conclusion 20 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 6.

RQ6. How do the ideas of the participants from the Spanish educational system on transformations of matter develop throughout their formal learning? Conclusion 20 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 6.

Objective 4 (O4). *To evaluate to what extent the curriculum design favours the participants' appropriation of a chemical change model, which is comparable to the model of school science.* This objective has been addressed through the following research questions:

RQ7. Are there any differences between the achievements of the participants in the last year of Compulsory Education in Spain and Sweden when interpreting everyday chemical changes? Conclusion 21 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 6.

RQ8. To what extent can the curriculum design favour the participants' appropriation of a chemical change model, which is comparable to the model of school science? Conclusion 22 refers to this research question, which has been addressed in Chapter 6.

The conclusions drawn from each research question have been outlined below, before going on to discuss the educational implications, limitations of the study and potential future lines of research.

7.2 CONCLUSIONS

The results presented in Chapter 4, 5 and 6 allow the following conclusions to be established:

Conclusion 1: Early Childhood Education participants (EC1) tend to construct naturalistic explanations that incorporate the

intervention of an external agent when interpret the burning of a candle inside an inverted vessel. Based on Piaget's theory of cognitive development, egocentrism is a characteristic of the preoperational stage. This egocentrism is manifested in young children in the fact that they establish explanations that are based on artificialism, animism, or finalism (Piaget, 1929). This traditional approach to young children's abilities is in contrast with the results that were obtained in this work. Throughout the intervention, most of the Early Childhood Education participants (EC1) constructed naturalistic explanations to interpret a burning candle, highlighting Martí's consideration (2012) in which children were described as seekers of causes to make sense of everyday phenomena. According to this author, causality is a primitive element that quickly emerges in the thinking of young children, meaning that they tend to include the intervention of different agents in their accounts of natural phenomena. When explaining their observation that the candle had gone out, all of the children mentioned the intervention of an external agent. Most of the young children mentioned that the candle had gone out because there was air inside the vessel or because air entered through a hypothetical opening in the vessel. The idea that air extinguishes fire is common among preschool age children, given that they are likely to have seen candles, matches or other combustible materials being extinguished by air being blown directly over the flame in their everyday experiences (Martí, 2012). Moreover, some of the participants mentioned that the candle had gone out because of the cold temperature inside the vessel. These results are in contrast with those described in previous studies on other conceptual domains in which it was observed that young children tended to ignore the existence of an external agent when discussing phenomena such as dissolution, flotation, or magnetic properties (e.g. Christidou, 2005; Christidou & Hatzinikita, 2006).

Conclusion 2: Through guided observation and discussion, some of the Early Childhood Education participants (EC1) were able to relate the lack of air or oxygen to the fact that the candle had gone out. The results showed that two of the Early Childhood

Education participants (EC1) were able to explain that the candle had gone out because no air had entered in the vessel or because there was a lack of air or oxygen inside the vessel. These answers were triggered by the challenging questions that were posed by the researcher that led them to rethink why the candle had not gone out when it was uncovered. These responses were not expected from preschool age children, given that previous studies have found that even primary and secondary school students have difficulty in determining that oxygen or air is required to keep the fire alive (Prieto et al., 1992).

Conclusion 3: Most of the children in Early Childhood Education (EC1) identified that water vapour had been released during the phenomena, however they interpreted the water vapour as tiny drops of water, rather than considering that it constituted another state of matter which differs from the liquid state. The results show that participants in Case Study 1 (EC1) were able to identify that water vapour had been released in both chemical changes. Some children even made predictions about the combustion phenomenon, mentioning that mist formation would take place on the walls of the glass, and they were the only research participants to refer to this idea prior to the observation phase. Before the teaching intervention, these children engaged in several guide-inquiry activities related to the three physical states of matter, and certain changes of states such as condensation and evaporation in the framework of a science project about the water cycle. However, these children did not understand water vapour as being a different state of matter. Water vapour was described as tiny drops of water that cannot be seen; therefore, the children described the mist formation on the glass covering the candle or the test tube in which the sugar was heated as the collision of these little drops of water with the walls of the vessels. These responses may suggest that they were familiar with the idea that liquid water changes from a liquid state to a vapour state. Furthermore, we believe that this notion of vapour as a tiny water particle may reveal an incipient view of the corpuscular nature of matter.

Conclusion 4: Among Primary Education participants (EC2) and Early Childhood Education participants (EC1), certain difficulties in reconciling the observations with the predictions were observed, resulting in a partial interpretation of the data or a distortion of their observations in order to match the prediction and support their initial ideas. According to Chinn and Brewer (1998), during the reasoning process in which participants are required to contrast the prediction of a phenomenon with the subsequent explanation, they may adopt different stances: (a) rejecting the empirical data in favour of the initial prediction; (b) analysing the empirical data partially with the intention of validating the initial prediction; or (c) critically analysing the empirical data in an attempt to reconcile existing discrepancies between the observations and prediction. The results suggested that children in Early Childhood Education (EC1) and children in Primary Education (EC2) presented two different positions in terms of their observations when interpreting everyday phenomena such as a burning candle and the thermal decomposition of sugar. When there were discrepancies between the data and the children's original prediction, these participants were able to ignore or discard any observations that they were unable to explain. As Vosniadou (2002) pointed out, their attitudes towards the phenomena may be a result of them finding it challenging to reconstruct their ideas or mental models, so rather than trying to reconstruct these modes of thinking by using other ideas and models from school science, they choose to ignore any information that contradicts or does not match their expectations about the phenomenon.

Conclusion 5: Both Early Childhood Education participants (EC1) and Primary Education participants (EC2) initially justified the changes that they thought would occur when sugar was heated up by constructing agentive naturalistic explanations, nonetheless, once they had observed the phenomenon, the participants resorted to synthetic explanations in which the idea that a substance had been transformed into different ones was evident. The results show that initially the majority of the Early

Childhood Education (EC1) and Primary Education participants (EC2) constructed naturalistic explanations that described the intervention of an external agent to justify what they thought would happen when the sugar was heated. Many of the participants referred to the fact that the sugar was going to undergo a physical transformation. In particular, the most common prediction referred to the sugar melting. Related to this finding, some of the Early Childhood Education participants (EC1) defined the term “melting” as conversion to water, which is in line with other studies which have been conducted with preschool age children (Demirbaş & Ertuğrul, 2014). A smaller group of children mentioned that the sugar would evaporate, break down, or dissolve. In any case, the common factor in all of the responses was the fact that heat was used as an external agent to trigger a change in the sugar’s physical properties. Likewise, these responses were comparable to a modification model for the interpretation of chemical changes (Andersson, 1990). Following the observation phase, the majority of participants in both case studies constructed synthetic explanations in which they explained the idea that sugar had been transformed into those substances with which the decomposition residues that remained in the test tube had a similar appearance. The participants commonly referred to the idea that the sugar is transformed into honey, carbonated drinks, caramel, beer, or oxide. Several children also mentioned the idea that the sugar had burned. Three of the Early Childhood Education participants (EC1) and five of the Primary Education participants (EC2) mentioned this idea during the discussion phase. These interpretations, which described the thermal decomposition of sugar as the transformation of one substance into a different one are similar to the incipient idea of chemical change from a macroscopic representation scheme, and, likewise, they are also comparable to a transmutation model used to interpret chemical reactions (Andersson, 1990). It is clear that, once again, perception was a determining factor among Early Childhood Education participants (EC1) and Primary Education participants (EC2) when interpreting the thermal decomposition. According to other authors (e. g. Driver et al., 1989), the students’ understanding of science is dominated by what can be directly perceived, meaning that alternative

models and ideas are based on the use of causal inference rules that are applied to empirical data that is collected through a sensory process.

Conclusion 6: Most of the Primary Education participants (EC2) understood that oxygen or air were required for the combustion of a candle, and they were able to determine that there was a connection between the size of the vessel covering the candle and the time the flame took to go out, although there was no evidence that they were thinking about the idea of a chemical interaction between the wax and oxygen. The results suggest that most of the Primary Education participants (EC2) understood that oxygen or air were required to burn a candle. Some of the participants even gave answers that could be considered as indicators of the activation of a transmutation model, given that it was interpreted that oxygen was necessary to “feed the flame” or to “keep the flame alive”, providing descriptions of the phenomena that were similar to those included by Watson et al. (1997) in the transmutation model. However, there was no evidence to suggest that they considered the idea of a chemical interaction between the combustible material and oxygen. Considering how the school curriculum in Galicia is organised, the responses of these students were not surprising. With regards to chemical changes, the experimental development of everyday chemical transformations such as combustion is only included in the curriculum in the last two years of this educational stage. The concept that a chemical reaction is a transformation of matter in which one or more initial substances are converted into one or more different substances is not considered (Xunta de Galicia, 2014). It is not until the second year of secondary education that this macroscopic approach to the idea of chemical change is addressed (Xunta de Galicia, 2015). As well as establishing that air or oxygen were required for a candle to burn, the majority of participants in this case study (EC2) were able to establish that there was a direct proportional relationship between the size of the vessel covering the candle and the amount of oxygen that it was able to hold. Participants

also related the amount of oxygen contained in the vessel to the time that it took for the candle to go out.

Conclusion 7: Some of the Primary Education participants (EC2) had difficulty in identifying that water vapour was a combustion product, providing explanations for the appearance of water on the vessel in terms of the transmutation of energy into another substance or the transmutation of one substance into a new one. Some of the Primary Education participants (EC2) mentioned that the formation of mist on the glass covering the candle was due to water vapour from the flame, from the wax, or more generically, from the candle. These findings suggested that some of the participants conceived the candle as a “source” of water vapour. These participants considered that the vapour was not in the air, but that it was released during combustion. However, other Primary Education participants (EC2) had difficulty identifying that water vapour was a combustion product, and these results were consistent with those already described in the literature (e.g. Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997). Furthermore, none of the participants referred to this empirical data spontaneously. Children in this case study (EC2) only mentioned the apparition of water droplets thanks to researcher-guided observation. When the researcher asked students to explain what they had observed, the majority of the participants resorted to descriptions that involved activating a transmutation model in order to interpret chemical changes Andersson (1990). Some of the participants gave other explanations about the apparition of water droplets on the walls of the vessel covering the candle, suggesting that other substances such as air or oxygen had been transmuted into liquid water. These responses were similar to those described in other studies (e. g. Abdullah et al., 2016; Chang, 1999; Coştu, 2008; Coştu et al., 2012), which highlighted the difficulties that students face when interpreting the condensation phenomenon. Other participants explained the apparition of water droplets in terms of the transmutation of energy into a substance, in this case suggesting that the heat had been transformed into water. This alternative conception

has also been described extensively in the literature (e.g. Cañada et al., 2013; Kind & Kind, 2011; Méndez, 2013; Prieto et al., 1992).

Conclusion 8: All of the Early Childhood Education participants (EC1) were in a position to build a precursor model on the transformation of matter, and all of the Primary Education participants (EC2) already have a precursor model in this conceptual domain. The term, precursor model, refers to a cognitive structure that emerges between the children's original representations and the school science models, enabling them to generate predictions and explanations about different phenomena (Ravanis, 2017). These models have a limited range of application as they only permit simple causative correlations (Canedo-Ibarra et al., 2012). However, they are essential to deepening knowledge, given that they constitute the foundations or basis on which the model of school science is to be built (Canedo-Ibarra et al., 2012; Koliopoulos et al., 2004). All of the Early Childhood Education participants (EC1) gave naturalistic explanations or even explanations with a higher level of sophistication (e.g., synthetic explanations) to interpret both the burning candle and the thermal decomposition of sugar. No metaphysical or teleological explanations were recorded. These results differ from previous studies on other natural phenomena in which, for example, young children explained the attraction of a paper clip in metaphysical terms, considering the intervention of magical powers (Christidou, 2005). These results are highly relevant for science teaching in Early Childhood Education, given that the ability to generate naturalistic explanations within a certain conceptual domain suggests that children are able to construct a precursor model (Koliopoulos et al., 2009), in this case in the domain of matter and its transformations. In terms of the Primary Education participants (EC2), the results suggested that almost all of the children had a precursor model regarding the transformation of matter. In this thesis we assumed that the children's precursor model on chemical changes should include the idea of one or more substances being transformed into one another or into other substances as reference knowledge. All of the Primary Education participants (EC2) recognised that the combustion of a candle requires

air or oxygen, and after observing the thermal decomposition of sugar, most of the participants described this phenomenon as the transformation of sugar into other substances.

Conclusion 9: Most of the participants in Secondary Education in Spain (EC3) initially interpreted a burning candle in terms of transmutation or the disappearance of substances, although after observing and discussing the phenomenon, different models were activated to interpret this change, and this depended on the material of the candle that the participants were observing. Regarding the models used by Secondary Education participants in Spain (EC3), and based on the results obtained, we can conclude that although the chemical reaction model (Andersson, 1990) is the only one that is addressed in the teaching of chemical change, the participants tended to activate alternative models to predict and explain the combustion of a candle inside an inverted vessel. As Ortolani et al. (2012) indicated, models of school science are often introduced without establishing sufficient relationships with the phenomena that is being explained and without offering the opportunity for these models to be used in various situations, which leads the students to develop other alternative models. Very few of the participants initially described the burning candle in terms of the disappearance of a substance (Andersson, 1990), in this case, oxygen. Most of the participants initially described this phenomenon in terms of transmutation, giving answers similar to those that Watson et al. (1997) framed in this model by incorporating the idea of oxygen as being necessary to “feed the flame” or to “keep the flame alive”. This idea can be interpreted as a transmutation of matter into energy (Sesto & García-Rodeja, 2017). All of the participants recognised oxygen as an indispensable resource, although there was no evidence to suggest that they had considered the chemical interaction between wax and oxygen. After observing the phenomena and thanks to the cognitive challenging questions that were posed by the researcher, most of the children in this group activated two different models of chemical changes that were based on the material of the candle. When describing the changes to the wick, participants considered that

combustion had occurred, although there was no evidence that the microscopic interpretation scheme had been activated at any time. When describing the changes to the wax, the students pointed out that the wax had melted, activating a modification model according to which the substance remained unchanged (Sesto & García-Rodeja, 2017). Only the physical properties of the wax had been altered, in this case the state of the matter.

Conclusion 10: Most of the participants in secondary education in Spain (EC3) did not identify that the candle contained fuel, suggesting that wax is an agent that slows down the combustion process. Other works (e.g. BouJaoude, 1991; Gabel et al., 2001; Löfgren & Helldén, 2008; Watson et al., 1997) have already exposed the students' difficulties in identifying wax as fuel in a candle, which was confirmed once again in this investigation. Most of the participants in this case study (EC3) considered that the only thing that burns during the combustion of a candle is the wick. In line with the results of other studies (e.g. Méheut et al., 1985), it was observed that the students modelled the changes that occurred in the wax during the burning of a candle in terms of the melting of the substance. In general, they only considered wax as an agent that slows down the combustion of the wick.

Conclusion 11: Most of the participants in secondary education in Spain (EC3) initially interpreted the thermal decomposition of sugar in terms of the modification of a substance, although after observing and discussing the phenomenon, most of them were able to activate a macroscopic model of chemical reaction. Based on the results obtained, we can conclude that, in general, the participants in Secondary Education in Spain (EC3) initially described the thermal decomposition of sugar by considering alternative models to the chemical reaction model. Most of the students activated a modification model (Andersson, 1990) to describe the changes that they thought would occur when heating sugar, incorporating as explanatory elements (Fisher, 1998) the idea that the substance would change to a different form of the same

substance, and mentioning that heat was the agent that would trigger the change of the substance's physical properties. The answers in which participants referred to the sugar melting or becoming dilated were frequent. A smaller proportion of the participants activated a transmutation model (Andersson, 1990) in order to describe the changes that they thought would occur when heating sugar. Within the transmutation framework, the most repeated idea was the one which referred to the idea that sugar would turn into caramel. However, following the observation and in-class discussion, the initial models were replaced by a more sophisticated model of transformation of matter. In all of the cases analysed, the transmutation and modification models were replaced by a chemical reaction model, nonetheless, the participants resorted to using macroscopic representation schemes to interpret the phenomenon, showing considerable reluctance to mentioning the existence of atoms and molecules in their explanations, as was also the case in other studies (Domínguez et al., 1996; Watson et al., 1997). Interestingly, around half of the participants identified water as one of the products of thermal decomposition.

Conclusion 12: Some of the participants in secondary education in Spain (EC3) struggled to understand transformations of matter in which a single reactive intervenes as being a chemical change, considering that in this case other substances should be incorporated. As Casado e Raviolo (2005) pointed out, it is common for students to associate the concept of chemical change with the mixture of substances, therefore meaning that they struggle to recognise transformations of matter such as thermal decomposition, in which a single reactive gives rise to different products, as a chemical change. The interpretation of the macroscopic changes that occur in substances when they decompose into simpler ones, either by applying electricity (electrolytic decomposition) or by heating (thermal decomposition), requires for hypotheses to be drawn up regarding the structure and chemical composition of the reactive (Caamaño, 2019), and several studies have already exposed the difficulties faced by students difficulties when

moving between the microscopic and macroscopic domains. In order to interpret the changes that took place in the sugar, some of the students used a chemical reaction model in which they mentioned the intervention of a second reactive, air or oxygen. One of the participants even expressed the idea that sugar would only undergo a physical transformation due to the lack of air or oxygen. The need to introduce a second reactive highlights the difficulties faced by students in understanding chemical reactions such as decomposition in which a single reactive intervenes. These results are similar to those reported in other works (e. g. Carbonell & Furió, 1987; Eilks et al., 2007).

Conclusion 13: Most of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) interpreted the combustion of a candle inside an inverted vessel in terms of transmutation, although after observing the phenomenon some of the participants incorporated ideas that were close to the chemical reaction model. Regarding the models that were activated by participants in secondary education in Sweden (EC4) to predict what would happen during the combustion of a candle inside an inverted vessel, we can conclude that the students initially described the phenomenon in terms of transmutation (Andersson, 1990). The idea that oxygen is necessary to “feed the flame” or to “keep the flame alive” was recurrent among the participants’ responses. When they had the opportunity to observe and discuss a possible interpretation of this phenomenon, some of the participants maintained their initial model of transmutation, however others incorporated the incipient idea of a chemical interaction between oxygen and the flame or between oxygen and wax into this framework. These responses were comparable to those that included by Watson et al. (1997) in a transition model between the transmutation model and the chemical reaction model.

Conclusion 14: Around half of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) initially interpreted the thermal decomposition of sugar in terms of the modification of the substance, while the other half used a chemical reaction model that was consistent with the model of school science in which the activation of a microscopic interpretation scheme was intuited. With regards to the models that were used by participants in Secondary Education in Sweden (EC4) to predict what they thought would happen during thermal decomposition, from the results obtained we are able to conclude that some of the students interpreted the phenomenon in terms of modification. However, from the outset a similar proportion of participants activated a chemical reaction model that was comparable to the model of school science in which the conservation of the chemical elements was considered. The students who used this model reflected on the chemical composition of sugar, referring to the fact that the hydrogen and oxygen present in the substance's structure would fuse to form water, leaving only carbon in the test tube. These results differ from those described in other studies that reveal the difficulties faced by students in activating a microscopic interpretation scheme (Domínguez et al., 1996; Watson et al., 1997).

Conclusion 15: After observing the phenomenon of thermal decomposition of sugar, most of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) expressed models that were close to the chemical reaction model used in school science. The results show that in general the students who initially expressed a chemical reaction model tended to stick to this model. In contrast, most of the participants who initially interpreted thermal decomposition in terms of a modification of the substance were subsequently able to build models in which ideas that were close to the idea of chemical reaction coexisted with other alternative conceptions. Some of the students in this case study (EC4) explained water vapour as the evaporation of the water contained in the sugar, and others contemplated the transmutation of the water vapour (H_2O) into other substances such as smoke or carbon dioxide (CO_2).

Conclusion 16: A large proportion of the participants in secondary education in Spain (EC3) and of the participants in the last year of Compulsory Education in Sweden (EC4) had difficulty in identifying water vapour as a combustion product, often associating the formation of mist on the walls of the vessel with the condensation of water vapour from the environment. As with the Primary Education participants (EC2), the secondary education participants in Spain (EC3) and Sweden (EC4) struggled to identify water vapour as a combustion product. Most of the participants in both case studies did not make explicit the observation related to the apparition of water on the walls of the vessel covering the candle. Very few of the students who had mentioned this observation in their answers actually integrated this empirical data as an element in their explanations. When addressing the questions posed by the researcher, which required an explanation for the formation of mist in the glass, some of the participants indicated that water vapour from the environment had condensed due to the difference in temperature. These results, which expose the difficulties faced by students in identifying water vapour as a product of combustion, were in line with those already reported in the literature (e.g. Prieto & Watson, 2007; Watson et al., 1997).

Conclusion 17: Some of the participants, regardless of their age, struggled to distinguish between combustion and thermal decomposition, considering that the black residues of thermal decomposition was evidence that the sugar had burned. These results were line with those described in the work of Gabel et al. (2001) which discussed the difficulties of 8-13-year-old students in distinguishing between combustion and thermal decomposition. As these authors stated, students were unaware that blackness does not always constitute evidence that combustion has occurred and, likewise, they were unable to understand that the black residues in most cases was coal that had not been burned. In addition to the blackened colour of the decomposition residues, some of the participants in Case Study 3 (EC3) considered that the release of water vapour was further evidence to show that the sugar had burned, given

that these students were under the impression that all combustion processes originate carbon dioxide and water as products, regardless of the nature of the combustible material. We consider that the inability to distinguish between combustion and thermal decomposition, especially among the youngest students, may have a social origin due to the use of the term “burned” in daily life. As Solomon (1998) pointed out, scientific language often shares terms with everyday language, incorporating the common associations that are made of them. The translation of these associations from everyday language to scientific language may constitute an epistemological obstacle in the understanding of certain scientific concepts such as combustion.

Conclusion 18: There is no single model for the interpretation of chemical changes that can be extended to any context. This view is shared in the work of Domínguez et al. (2003), which pointed out that mental models and modelling processes depend on the context and content. Participants in our study did not express the same model to interpret chemical changes, with it differing depending on the phenomenon that was being interpreted, in this case, a burning candle or the thermal decomposition of sugar. As Rocha et al. (1998) stated, students rely on the properties of the substances to reinforce the idea of whether or not a chemical transformation exists, without any concept of a chemical reaction that can be extended to any situation.

Conclusion 19: The observation of the phenomenon and, especially the discussion around it promote the progression of existing models for interpreting chemical changes towards more sophisticated models. Regarding the extent to which observation, reflection, and discussion around the phenomena have an influence on the participants’ initial models, it was determined that social interaction provided students with opportunities to express their models and develop them to a higher level of complexity. The results showed that several argumentative situations occurred during the group discussions. During these communicative interactions between two individuals, which Baker (2009) referred to as a simple

interpersonal conflict of opinions, one person expresses a certain model or idea while the other offers arguments for or against that model or idea to either sustain or invalidate it. Some of these situations led students to discard their initial model, going in search of greater explanatory power. However, it is worth mentioning that participants resisted spontaneously discussing their ideas, probably because they were not very used to undertaking a POE (Predict-Observe-Explain) activity (White & Gunstone, 1992). This was certainly the case during the first task, with improvements observed during the second experimental activity, both in terms of the interpretation of the phenomenon and in the argumentative skills of participants in Case Study 3 (EC3). In POE activities, students have the opportunity to use their previous models to make a prediction about a phenomenon, which they will then have to observe and explain. Due to the participants' resistance to spontaneously discuss ideas, the researcher had to intervene on several occasions to encourage social interaction. Through several questions that challenged the participants' mental models of participants, students were encouraged to express and discuss their ideas (Sesto & García-Rodeja, 2017). In the groups in which the researcher's interventions were more limited, which therefore led to a less fruitful discussion, as was the case among the participants in secondary education in Sweden (EC4), the evolution of the students' initial mental models was less remarkable. Observation proved to be less of a determining factor than discussion, given that many participants avoided those empirical data for which they had no answer instead of trying to integrate them into their interpretations. It is clear that mental models may guide the way in which new information is interpreted, nonetheless these models may also restrict this, as has been observed in findings from cognitive psychology (e.g. Vosniadou, 2002).

Conclusion 20: There is no single learning progression that describes how the participants' models around chemical changes evolve, however, the learning path depends on the phenomenon under analysis. With regards to the phenomenon of a burning candle, the lower anchor (N0) of the learning progression was marked by

descriptive responses or answers in which justifications that were based on establishing a relationship with everyday experiences rather than relying on the knowledge obtained through school science are provided. Most Early Childhood Education participants (EC1) were at this level. From this educational stage to the following, that is to say, to Primary Education, there was a notable progression in the interpretations given by the participants as they attempted to make sense of a burning candle inside an inverted vessel. All of the participants in this case study (EC2) identified the need for oxygen or air for a candle to burn. However, from Primary Education to the last year of Compulsory Secondary Education in Spain (EC3), a stagnation was perceived in terms of the progression in the understanding of this chemical change. In both case studies (EC2, EC3) the participants tended to be at the N2 progression level, with them offering responses that were comparable to the modification and the transmutation models, and at the N3 progression level, in which they offered responses that were comparable to the chemical reaction model. The results show a higher incidence among the responses of Primary Education participants (EC2) of the explanatory element that refers to wax burning. With regards to the thermal decomposition of sugar, the results suggested a very subtle progression in the interpretations of participants from Early Childhood Education (EC1) compared to those in Primary Education (EC2). Most of the responses in both case studies reached the N2 progression level in which the phenomenon is understood as a transmutation of sugar into other different substances. From Primary Education (EC2) to Compulsory Secondary Education (EC3), a notable progression was observed in terms of the participants' interpretations, with almost all of the secondary students reaching the N3 progression level. However, the activation of a microscopic interpretation scheme was not observed for either phenomenon. Given the structure of the curriculum in Galicia, the concept of chemical reaction is not introduced until the second year of compulsory secondary education in macroscopic terms, therefore meaning that students in the earlier educational stages may not understand or have to know anything about the chemical transformation of matter (Xunta de Galicia, 2015). On the other hand,

the interpretation of chemical changes as the reorganisation of particles is addressed in the third year of compulsory secondary education. Traditionally it has been considered that certain ideas and scientific models, such as the kinetic-molecular theory of matter or the atomic-molecular theory, were not suitable for inclusion in the early stages of education because the content was too abstract and too far from children's everyday experiences. Nevertheless, several studies (e.g. Stevens et al., 2010) have suggested that this delay in introducing the corpuscular nature of matter due to an underestimation of the ability of young children is not necessarily beneficial. The data obtained in this research is in line with this assessment, given that secondary school students were not able to understand the atomic-molecular model as a tool on which to base their explanations, instead basing their identification of the type of transformation of matter that took place on the macroscopic changes that occurred.

Conclusion 21: The achievements of secondary participants in Spain (EC3) and Sweden (EC4) differed depending on the phenomenon that they were interpreting, with the students from both groups presenting comparable achievements when interpreting the burning candle inside the inverted vessel, however, the interpretations given by the Swedish participants regarding thermal decomposition were more favourable. From the results obtained, it can be concluded that there were no significant differences between the interpretations given by secondary participants in Spain (EC3) and the secondary participants in Sweden (EC4). During the intervention, most of the participants offered descriptions that contained the idea that oxygen is necessary to “keep the flame alive”, giving responses similar to those included in Watson et al.'s transmutation model (1997) and reaching the N₂ progression level (Hadenfeldt et al., 2014). In contrast to the interpretations given by both groups of the burning candle inside an inverted vessel, a greater divergence was observed in terms of the descriptions of the thermal decomposition of sugar. Most of the students from the Spanish educational system (EC3) established predictions for the thermal decomposition of sugar that were based on a modification of

the substance, reaching the N2 progression level. To the contrary, in the first phase of the intervention, a third of the Swedish students (EC4) gave responses that were comparable to a chemical reaction model, placing themselves at the N3 progression level. Furthermore, these participants constructed predictions for the thermal decomposition of sugar that were based on the chemical composition of the initial substance as suggested by Lacolla et al. (2019). In their descriptions of the phenomenon, the Swedish students referred to the fact that the oxygen and hydrogen that were present in the chemical structure of sugar would combine to form water, leaving only a carbon remnant in the test tube. In these responses, the spontaneous activation of a microscopic interpretation scheme was intuited, a result that is in contrast to other works in which the difficulties in translating between the tangible macroscopic world, and the theories and models of the microscopic world were identified (e.g. Lacolla et al., 2014). At the end of the teaching intervention, and once the phenomenon's development had been observed, almost all of the participants in both of the case studies (EC3, EC4) gave answers in which the activation of a chemical reaction model that could incorporate certain alternative ideas was intuited. Although to a lesser extent than at the beginning of the intervention, differences in the performance of participants in the Spanish educational system (EC3) and participants in the Swedish educational system (EC4) were observed. Approximately half of the participants in Case Study 3 (EC3) identified the transformation of sugar as a combustion and other participants incorporated the intervention of a second reactive in the process, highlighting the fact that students struggled to assume transformations of matter that involved a single reactive as a chemical change (Carbonell & Furió, 1987; Eilks et al., 2007).

Conclusion 22: The introduction of a corpuscular model of matter to describe and explain macroscopic changes at an early age enables participants to acquire more skills that can be used to interpret phenomena in which transformation of matter occurs. The results obtained in this research show that participants from the Spanish educational system (EC3) based their explanations

fundamentally on the changes that they observed. To the contrary, there was a tendency among the participants from the Swedish educational system (EC4) to provide more elaborate explanations that considered the conservation of atoms or elements. Especially in the case of the thermal decomposition of sugar, some of the participants based their interpretations of the phenomenon on the chemical composition of sugar, considering that products must contain reactants in a different chemical combination (Lacolla et al., 2014). In the Swedish curriculum for students aged from 10 to 13 years, an approach to the corpuscular model of matter with a purpose is established, that is to say, that students are required to explain and describe the structure and changes in matter (Skolverket, 2011). However, the Spanish curriculum does not introduce the corpuscular model of matter until compulsory secondary education, including the kinetic-molecular model in the second year (13 to 14 years) of this educational stage to explain the properties of the states of matter and changes of state, whereas the atomic-molecular model to interpret chemical changes in terms of the reorganisation of atoms is not introduced until the third year (14 to 15 years) (Xunta de Galicia, 2015).

7.3 EDUCATIONAL IMPLICATIONS

The following educational implications have been drawn from the conclusions of this study.

From Conclusions 1, 5, 6 and 8 related to research objective

O1: Understanding physical causality is essential both for the acquisition of scientific knowledge and for children's cognitive development (Christidou, 2005). The conceptual domains in which students are able to produce naturalistic explanations are especially appropriate in promoting the development of causal reasoning in Early Childhood Education (Christidou & Hatzinikita, 2006). The field of matter and its transformations can be a particularly useful domain for stimulating the development of causal thinking, therefore it is important to involve young children in Early Childhood Education in scientific activities in which they are given the opportunity to interpret

natural phenomena related to this conceptual domain. Nowadays, the presence of content related to matter and its transformations in Early Childhood Education is merely anecdotal given that the Galician curriculum only addresses the three states of water in the second cycle (3 to 6 year) of this educational stage. On the other hand, the ability to construct naturalistic explanations in a given conceptual domain can be considered an indicator that students are able to construct a precursor model in this domain (Koliopoulos et al., 2009). The introduction of science activities related to matter and its transformations in Early Childhood Education can encourage young children to build a precursor model in this conceptual domain, thereby laying the foundations for subsequent learning. Precursor models can be built on and expanded through relevant science activities in which suitable empirical data is provided (Koliopoulos et al., 2009). In this sense, we consider that inquiry-based learning is one of the most appropriate approaches for science learning, given that it promotes, among other processes, the observation, identification and formulation of questions, and the establishment of hypotheses and their testing through the experimentation (Cañal et al., 2016). However, it is important to consider that not all activities in Early Childhood Education have the same potential. When introducing science teaching in Early Childhood Education it is important to consider familiar contexts for young children, so that they can think, ask questions, and construct explanations (Martins & Veiga, 2001).

From Conclusion 12 related to research objective O2: Given that some participants had difficulty in understanding that a chemical reaction can be triggered from a single reactive, we consider that it is necessary to introduce examples of decomposition reactions in the classroom to give students the opportunity to develop appropriate empirical references. It is common for the idea of chemical reactions to be included in text books by demonstrating certain everyday chemical changes such as combustion, but the same does not happen with decompositions. As Harlen (2008) pointed out, in order for students to construct models they must have adequate empirical references to be able to build abstract concepts.

From Conclusion 17 related to research objectives O1 and O2: With regards to the difficulties faced by participants in distinguishing between thermal decomposition and burning, we agree with Watson et al. (1997) about the need to propose experimental tasks in which students are required to compare heating, -a process in which energy is transferred from an external source to the reactants-, with burning, -a process in which energy is released from the system to the surroundings during the chemical process-. Through these types of experimental tasks, students will be able to recognise the signs of combustion and clearly distinguish this phenomenon from thermal decomposition.

From Conclusion 18 related to research objective O2: In general, the participants' ideas and models about transformations of matter were inconsistent, and dependent on the context. In addition, it was surprising to note the difference between the degree of sophistication of the contents that are included in the curriculum for the last years of secondary education and that are taught in the classroom, and the low degree of sophistication in the ideas and models that are used by participants when interpreting everyday phenomena. As Ortolani et al. (2012) pointed out, the organisation of chemistry contents is not always done with an adequate introduction of the models of school science. Many times these models are presented without having firstly established connections with the phenomena that they are explaining and without having given students the opportunity to use them to interpret different situations (Ortolani et al., 2012). Many ideas are given, however there is no time to apply them. At the same time, the organisation of the curriculum tends to be quite fragmented. Each academic year is organised around a set of contents, considered as isolated sets, which makes it difficult for students to integrate these ideas and mobilise them together in the interpretation of phenomena. Teachers must be aware of the importance of modelling skills, and they must emphasise the relationship that exists between the macroscopic and the microscopic domain, given that to be able to understand chemical changes they

must be able to think at these two levels. In this way, the discrepancies between the knowledge that is transmitted and the knowledge that is actually acquired would be reduced and the students would have a better understanding of phenomena related to matter and its transformations. As already noted in previous studies (e.g. Eikeseth & Haugstad, 2021; Perales & Cañal, 2000), many of the difficulties that students experience in the field of chemistry are a result of their inability to move between the macroscopic and the microscopic world. Students must acquire skills in the management of concepts such as atom, molecule, and chemical reaction, as these are necessary in order to build a model of chemical reaction that is generalisable to any situation and context. Furthermore, and considering the atomic-molecular model, it is fundamental that students have perfectly assumed at least three key ideas: (a) matter is made up of atoms that are organised to form molecules; (b) substances are made up of molecules; and (c) in a chemical reaction the substances are modified due to the formation of new molecules, but the atoms maintain their identity (Vázquez & García-Rodeja, 2005).

From Conclusion 19 related to research objective O2: Social interaction provided the students with opportunities to make their mental models explicit, favouring their reconstruction towards more complex models. We agree with Garrido (2016) on the need for in-class science activities to be proposed which give students the opportunity to evaluate and revise their models and become involved in any discussions that may arise during the modelling process. By giving them the opportunity to discuss their mental models with other students, certain models of school science may become more accessible (Justi & Gilbert, 2002; Stern, Barnea & Shauli, 2008; Treagust et al., 2010). In addition to giving students time to discuss their ideas, it is also fundamental that students have time to think about a plausible interpretation of the phenomena. In this regard, experimental work plays a key role in giving students the opportunity to explore their models, develop explanations, and compare their ideas with those provided by experiences (Rocha & Bertelle, 2007). Only those situations in which students consider their models to be

insufficient because they do not fulfil the purpose of accounting the observed phenomena will lead to the reconstruction of models in search of greater explanatory power. In this sense, science activities based on a POE teaching strategy are especially useful, given that they give students the opportunity to use their previous models to make a prediction about a phenomenon, before going on to observe and explain it. These activities move away from the explanation-application format in which information is first given and then applied to solving problems (Yan & Talanquer, 2015). Explanation-application activities make it difficult for students to express their initial models, meaning that it is more difficult for these models to evolve towards other closer to the model of school science (Sesto & García-Rodeja, 2017). In addition, teachers play a key role in the implementation of the activities. We agree with Garrido (2016) that a highly effective mechanism for the progression of students' models is the introduction of new ideas by the teacher, followed by discussions among peers in a trust-based environment in which students are able to express themselves freely without fear that their responses may be penalised.

From Conclusions 20, 21 and 22 related to research objective O3 and O4: In Galicia, the interpretation of a chemical change in terms of the reorganisation of particles is not addressed until the third year of compulsory secondary education (14 to 15 years). To the contrary, in many countries such as the United States, Sweden and New Zealand, which have a wide range of educational proposals based on research in the area of science didactics (Caamaño, 1994), the concept of chemical reaction from a microscopic perspective is proposed in the curriculum for children aged around eight to ten years. These differences may be due to different beliefs regarding children's abilities to understand certain ideas or to the fact that a high cognitive demand is considered necessary for the appropriation of certain concepts or the construction of certain models. In the past it was considered that it was not suitable to teach certain theories or scientific models, such as kinetic-molecular theory or atomic-molecular theory of matter, at an early age as the content was

considered to be too abstract (Stevens et al., 2010). Today, it is recognised that an excessive delay in the introduction of the particle nature of matter may have more biases than benefits (Samarapungavan et al., 2021). Some studies (e. g. Samarapungavan et al., 2021) have suggested that involving young children from the early grades in activities that allow them to engage in practices that aim to make sense of everyday phenomena, as well as giving them the opportunity to participate in a discourse-scaffolded about the interpretation of the phenomena will promote their construction of a simple particle model. We consider that an approach to the particle nature of matter from an early age would allow them to build a precursor model related to matter and its transformations that could be gradually expanded into more sophisticated models. As Canedo-Ibarra et al. (2012) and Koliopoulos et al. (2004) pointed out, in the absence of these previous mental structures, the construction of models that are close to the model of school science would be more difficult to achieve (Canedo-Ibarra et al., 2012; Koliopoulos et al., 2004). Moreover, according to Prieto et al. (2002), when organising the curricular contents, continuity in learning must be ensured from a primitive approach towards the acquisition of the big ideas of science. The simple particle models that are constructed by young children are not expected to not incorporate certain alternative ideas. As Samarapungavan et al. (2021) observed, children in Early Childhood Education may understand that particles in the solid state are smaller than they are in the liquid state or gaseous state, and they may also tend to think that the number of particles decreases in a substance's transition to the gaseous state. These alternative conceptions to the kinetic-molecular model of matter have also been described with primary and secondary students (e.g. Aydeniz & Kotowski, 2012; Badrian et al., 2011) and, in any case, the explanatory power of the models that can be built by young children is considered more beneficial than the alternative ideas that can be incorporated by these models according to Samarapungavan et al. (2021). These early models can be rebuilt and expanded through participation in relevant science activities. In addition to engaging young children in discourse-scaffolded practices of sensemaking around everyday phenomena,

Samarapungavan et al. (2021) recommended the inclusion of digital tools that connect the behaviour of particles at the microscopic level to macroscopic observations of the tangible world. On the other hand, taking into account that learning progressions in a given conceptual domain are not linear, it is recommended that students be exposed to a wide variety of everyday phenomena. In this way, students will have more empirical references, meaning that they are able to build a model that can be used to interpret transformations of matter that are not fragmented and that are applicable to any situation.

7.4 LIMITATIONS OF STUDY AND FUTURE LINES OF RESEARCH

The limitations of the study were mostly related to the methodology approach that was adopted. This research constituted a qualitative study and, in particular, a multiple case study was used as a methodological strategy (Yin, 1994). In the case studies that formed part of this thesis, the interpretations given by different groups of students about everyday chemical transformations were analysed in a systematic and exhaustive manner thanks to information obtained from the participants' discussions that provided objective data that was aimed at describing a reality. The limitation of studies of this nature, which involve a small number of students and which are restricted to the specific context in which they are developed, is that the research findings are not generalisable to other contexts. However, it is worth mentioning that the coincidence of the ideas and models described in this study with those already described in the literature allows for them to be given a certain predictive character. This makes it possible to anticipate the models that students can activate, making it possible to provide better support to facilitate the evolution of students' initial models towards the model of school science.

Another methodological limitation was related to the adoption of a cross-age study that involved examining the interpretations made by students from different educational stages at a given time instead of following the same group of students at different times of their schooling. Since cross-age studies involve participants from different educational and sociocultural contexts, the results may not be very comparable.

On the other hand, it is worth mentioning that this study did not constitute a didactic proposal. From the beginning, this teaching intervention was designed with the sole purpose of generating knowledge about how students of different ages and educational systems interpreted everyday phenomena related to chemical transformations. The participation of the researcher and the author of this thesis was minimal, with her role being limited exclusively to stimulating discussion among the participants through the formulation of questions that challenged the students' models in light of the available evidence.

In addition, the development of more studies in the field of matter and its transformations, especially in Early Childhood Education has been proposed as a future line of research in order to increase the body of knowledge regarding the ideas and models which young children are able to develop. Apart from the small number of participants that limits the generalisation of the results obtained in this research, it must be noted that the context of the Early Childhood Education was quite specific given that they were already used to participating in inquiry-based science activities. Furthermore, this group of preschool age children had previously done work on the water states and changes of states. It would be very interesting to contrast the results obtained in this study with others in which students of similar ages with different educational backgrounds participated.

Finally, I would like to add that we hope that this research will encourage activities in which the students are able to be the protagonists of their own learning to be implemented in classrooms, in order to give them more time to think and apply their ideas to help them to build and rebuild ideas in the field of transformations of matter. An adequate understanding of matter that enables macroscopic processes to be described in terms of the particle model would allow students to better understand several phenomena such as the carbon cycle (Cho & Anderson, 2006). This would help them to attain a better understanding of, and better define the causes and consequences of the increasing greenhouse effect. Climate change is becoming an increasingly comparable challenge, therefore urgent measures must be taken to combat or mitigate its effects as it has been considered as a

priority objective of the *2030 Agenda* for sustainable development (United Nations, 2020). It is important for education in general and specifically science teaching to face this reality, so that the students of the future constitute dynamic agents of change. This is the line of thought towards which the latest educational projects such as the *OECD Learning Compass 2030* (OECD, 2019) are moving, and that we share.



REFERENCIAS

- Abdullah, N., Surif, J., & Ismail, S. (2016). Alternative frameworks of the secondary school students on the concept of condensation at submicroscopic level. *International Education Studies*, 9(5), 255-264.
- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105-120.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M., & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 36, 63-75.
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418.
- Adadan, E., Irving, K. E., & Trundle, K. C. (2009). Impacts of multi-representational instruction on high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter. *International Journal of Science Education*, 31(13), 1743-1775.
- Adadan, E., Trundle, K. C., & Irving, K. E. (2010). Exploring grade 11 students' conceptual pathways of the particulate nature of matter in the context of multirepresentational instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 1004-1035.
- Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old Swedish

- science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757-786.
- Adbo, K., & Taber, K. S. (2014). Developing an understanding of chemistry: A case study of one Swedish student's rich conceptualisation for making sense of upper secondary school chemistry. *International Journal of Science Education*, 36(7), 1107-1136.
- Aguilar, S., & Osuna, J. M. (2015). La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 47, 73-88.
- Agung, S., & Schwartz, M. S. (2007). Students' understanding of conservation of matter, stoichiometry and balancing equations in Indonesia. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1679-1702.
- Ahtee, M., & Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20(3), 305-316.
- Aikenhead, G. S. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, 27, 1-52.
- Aikenhead, G. S. (2001). Integrating Western and Aboriginal sciences: Cross-cultural science teaching. *Research in Science Education*, 31(3), 337-355.
- Akgun, A. (2009). The relation between science student teachers' misconceptions about solution, dissolution, diffusion and their attitudes toward science with their achievement. *Egitim ve Bilim*, 34(154), 26-36.
- Akgun, A., & Aydin, M. (2010). A cross-age study on the understanding of chemical and physical change and their components. *Asian Journal of Chemistry*, 22(5), 3541-3548.
- Alsina, D., Cagnola, E., Güemes, R., L'Argentiére, P., Nosedá, J. C., & Odetti, H. (2005). *Química para el ingreso*. Santa Fe: Ediciones UNL.
- Álvarez, C., & San Fabián, J. L. (2012). La elección del estudio de caso en investigación educativa. *Gazeta de Antropología*, 28(1), 1-12.

- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85.
- Appleton, K. (2006). Science pedagogical content knowledge and elementary school teachers. En K. Appleton (Ed.), *Elementary science teacher education. International perspectives on contemporary issues and practices* (pp. 31-54). Dordrecht, The Netherlands: Springer Academic Press.
- Aragón, M. M. (2012). Aportaciones de la enseñanza con analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos acerca del cambio químico. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz, España.
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9-30.
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 337-356.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 317-337.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- Ayas, A., Özmen, H., & Çalik, M. (2010). Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 165-184.
- Aydeniz, M., & Kotowski, E. L. (2012). What do middle and high school students know about the particulate nature of matter after instruction? Implications for practice. *School Science and Mathematics*, 112(2), 59-65.

- Aydeniz, M., Bilican, K., & Kirbulut, Z. D. (2017). Exploring pre-service elementary science teachers' conceptual understanding of particulate nature of matter through three-tier diagnostic test. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(3), 221-234.
- Aydin, S., Aydemir, N., Boz, Y., Cetin-Dindar, A., & Bektas, O. (2009). The contribution of constructivist instruction accompanied by concept mapping in enhancing pre-service chemistry teachers' conceptual understanding of chemistry in the laboratory course. *Journal of Science Education and Technology*, 18(6), 518-534.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S., & Álvarez, A. (2004). ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia?: Importancia de los prerrequisitos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (40), 7-18.
- Azizoglu, N., Alkan, M., & Geban, Ö. (2006). Undergraduate pre-service teachers' understandings and misconceptions of phase equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 947-953.
- Badrian, A., Abdinejad, T., & Naseriazar, A. (2011). A cross-age study of Iranian students' various conceptions about the particulate nature of matter. *Journal of Turkish Science Education*, 8(2), 49-63.
- Baek, H., & Schwarz, C. V. (2015). The influence of curriculum, instruction, technology, and social interactions on two fifth-grade students' epistemologies in modeling throughout a model-based curriculum unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 216-233.
- Baker, M. (2009). Argumentative interactions and the social construction of knowledge. In N. M. Mirza & A. N. Perret-Clermont (Eds.), *Argumentation and education: Theoretical foundations and practices* (pp. 127-144). Dordrecht: Springer.
- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.

- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.
- Bar, V., & Travis, A. S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
- Basto, C. R., Rodríguez, L. M., Granda, L. C., & Muñoz, S. M. (1999). Conceptualización en torno a la materia, a la luz de la hipótesis de incompatibilidad. *Revista Educación y Pedagogía*, 6(25), 221-230.
- Bektaş, O. (2017). Pre-service science teachers' pedagogical content knowledge in the physics, chemistry, and biology topics. *European Journal of Physics Education*, 6(2), 41-53.
- Benarroch, A. B. (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 235-246.
- Bennett, J., Lubben, F., Hogarth, S., & Campbell, B. (2005). Systematic reviews of research in science education: rigour or rigidity? *International Journal of Science Education*, 27(4), 387-406.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Berzonsky, M. D. (1971). The role of familiarity in children's explanations of physical causality. *Child Development*, 42, 705-715.
- Blanco-López, A., España-Ramos, E., González-García, F. J., & Franco-Mariscal, A. J. (2015). Key aspects of scientific competence for citizenship: A Delphi study of the expert community in Spain. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 164-198.
- Borsese, A., Lumbaca, P., & Pentimalli, R. (1996). Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 15-24.

- Böttcher, F., & Meisert, A. (2011). Argumentation in science education: A model-based framework. *Science & Education*, 20(2), 103-140.
- BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689-704.
- Boz, Y. (2006). Turkish pupils' conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 203-213.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639-669.
- Bravo, B., Puig, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20(2), 137-142.
- Bridle, C. A., & Yeziarski, E. J. (2012). Evidence for the effectiveness of inquiry-based, particulate-level instruction on conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 192-198.
- Burns, R. A. (2011). *Fundamentos de Química*. México: Pearson Educación.
- Bybee, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. In W. Graeber & C. Bolte (Eds.), *Scientific literacy. An international symposium* (pp. 37-68). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Caamaño, A. (1994). Estructura y evolución de los proyectos de Ciencias experimentales. Materiales curriculares. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (1), 8-20.
- Caamaño, A. (2011). Los trabajos prácticos en Física y Química: Interpretar. En A. Caamaño (Coord.) et al., *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 143-167). Barcelona: Graó.
- Caamaño, A. (2019). La teoría atómico-molecular en secundaria: Modelización progresiva basada en evidencias experimentales. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (97), 8-18.

- Cabello, M. J. (2011). Ciencia en la educación infantil: La importancia de un “rincón de observación y experimentación” o “de los experimentos” en nuestras aulas. *Pedagogía Magna*, 10, 58-63.
- Çalik, M. (2005). A cross-age study of different perspectives in solution chemistry from junior to senior high school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 671-696.
- Çalik, M., & Ayas, A. (2005). A comparison of level of understanding of eighth grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 638-667.
- Çalış, S. (2010). The level of understanding of elementary education students' some chemistry subjects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 4868-4871.
- Calo, N., García-Rodeja, I., & Sesto, V. (2021). Construyendo conceptos sobre electricidad en infantil mediante actividades de indagación. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 223-240.
- Campbell, T., & Oh, P. S. (2015). Engaging students in modeling as an epistemic practice of science: An introduction to the special issue of the Journal of Science Education and Technology. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 125-131.
- Cane, B., & Sellwood, J. (1994). *Química elemental básica 2. Elementos y compuestos*. Barcelona: Reverté.
- Canedo-Ibarra, S. P., Castelló-Escandell, J., García-Wehrle, P., Gómez-Galindo, A., & Morales-Blake, A. R. (2012). Cambio conceptual y construcción de modelos científicos precursores en educación infantil. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(54), 691-727.
- Canpolat, N. (2006). Turkish undergraduates' misconceptions of evaporation, evaporation rate, and vapour pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1757-1770.

- Canpolat, N., Pinarbasi, T., & Sözbilir, M. (2006). Prospective teachers' misconceptions of vaporization and vapor pressure. *Journal of Chemical Education*, 83(8), 1237-1242.
- Cantó, J., de Pro, A., & Solbes, J. (2016). ¿Qué ciencias se enseñan y cómo se hace en las aulas de educación infantil? La visión de los maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 25-50.
- Cañada, F., Melo, L., & Álvarez, R. (2013). ¿Qué saben los alumnos de Primaria sobre los sistemas materiales y los cambios químicos y físicos? *Campo Abierto. Revista de Educación*, 32(1), 11-33.
- Cañal, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7(24), 46-56.
- Cañal, P. (2006). La alfabetización científica en la infancia. *Aula de Infantil*, 33, 5-9.
- Cañal, P., García-Carmona, A., & Cruz-Guzmán, M. (2016). *Didáctica de las ciencias experimentales en educación primaria*. Madrid: Paraninfo.
- Cappannini, O., & Espíndola, C. (2017). Coherencia y congruencia en las representaciones utilizadas por estudiantes universitarios acerca de los estados de agregación. *Educación Química*, 28(4), 275-281.
- Carbonell, F., & Furió, C. (1987). Opiniones de los adolescentes respecto al cambio sustancial de las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 3-9.
- Carvalho, A. M. P. (2006). Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias. En F. M. T. Santos & I. M. Greca (Eds.), *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias* (pp. 13-48). Ijuí: Unijuí.
- Casado, G., & Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10(1es), 35-43.

- Castillejo, R., Prieto, T., & Blanco, A. (2005). El lenguaje y las teorías de los alumnos en la comprensión de la combustión. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-7.
- Ceylan, E., & Geban, O. (2009). Facilitating conceptual change in understanding state of matter and solubility concepts by using 5E learning cycle model. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 36, 41-50.
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26-41.
- Chang, J. Y. (1999). Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83(5), 511-526.
- Chang, J. M., Lee, H., & Yen, C. F. (2010). Alternative conceptions about burning held by Atayal indigene students in Taiwan. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(5), 911-935.
- Chang, H. Y., Quintana, C., & Krajcik, J. (2014). Using drawing technology to assess students' visualizations of chemical reaction processes. *Journal of Science Education and Technology*, 23(3), 355-369.
- Cheng, M. M., & Gilbert, J. K. (2017). Modelling students' visualisation of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 39(9), 1173-1193.
- Cheng, M. F., & Lin, J. L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental models transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Cho, I. Y., & Anderson, C. W. (2006). Understanding of matter transformation in physical and chemical changes: Ecological thinking. Paper presented at the NARST Annual Meeting, Baltimore, Maryland, USA.
- Christidou, V. (2005). Accounting for natural phenomena. *International Journal of Learning*, 12(8), 21-28.
- Christidou, V., & Hatzinikita, V. (2006). Preschool children's explanations of plant growth and rain formation: A comparative analysis. *Research in Science Education*, 36(3), 187-210.
- Claesgens, J., Scalise, K., Wilson, M., & Stacy, A. (2009). Mapping student understanding in chemistry: The perspectives of chemists. *Science Education*, 93(1), 56-85.
- Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model based learning and instruction in science*. Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research methods in education*. London: Routledge Falmer.
- Cokelez, A., Dumon, A., & Taber, K. S. (2008). Upper secondary French students, chemical transformations and the "Register of models": A cross sectional study. *International Journal of Science Education*, 30(6), 807-836.
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the future of science learning. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds.), *Models and modeling: Cognitive tools for scientific enquiry* (pp 3-21). New York: Springer.
- Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: Implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1), 85-94.
- Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) (2011). *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las ciencias en la didáctica escolar para edades tempranas en España*. Madrid: Rubes Editorial.

- Costa, T. (2015). Influência da criação e crítica de analogias por estudantes de química do ensino médio na promoção de interações argumentativas. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil.
- Coştu, B. (2008). Learning science through the PDEODE teaching strategy: Helping students make sense of everyday situations. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(1), 3-9.
- Coştu, B., Ayas, A., & Niaz, M. (2010). Promoting conceptual change in first year students' understanding of evaporation. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(1), 5-16.
- Coştu, B., Ayas, A., & Niaz, M. (2012). Investigating the effectiveness of a POE-based teaching activity on students' understanding of condensation. *Instructional Science*, 40(1), 47-67.
- Craik, K. J. W. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. London, Thousand Oaks: Sage Publications.
- Crossan, M. M., & Apaydin, M. (2010). A multi dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature. *Journal of Management Studies*, 47(6), 1154-1191.
- Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas: Aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pasta de dientes. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 12-19.
- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2017). Aprendiendo sobre los cambios de estado en educación infantil mediante secuencias de pregunta-predicción-comprobación experimental. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 175-193.
- Cuéllar, Z. (2009). Las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la naturaleza de la materia. *Revista Iberoamericana de Educación*, 50(2), 1-10.

- Daub, G. W., & Seese, W. S. (1996). *Química*. México: Pearson Educación.
- De Jong, O. D., Ahtee, M., Goodwin, A., Hatzinikita, V., & Koulaidis, V. (1999). An international study of prospective teachers' initial teaching conceptions and concerns: The case of teaching 'combustion'. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 45-59.
- De Pro, A. (1999). Planificación de unidades didácticas por los profesores: Análisis de tipos de actividades de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 411-429.
- De Vos, W., & Verdonk, A. (1986). A new road to reactions: Part III. Teaching the heat effect of reactions. *Journal of Chemical Education*, 63, 972-974.
- Delgado, J. M., & Gutiérrez, J. (2010). *Métodos y técnicas cualitativas de investigación en ciencias sociales*. Madrid: Síntesis.
- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6(1), 5-15.
- Delserieys, A., Jégou, C., Boilevin, J., & Ravanis, K. (2018). Precursor model and preschool science learning about shadows formation. *Research in Science & Technological Education*, 36(2), 147-164.
- Demirbağ, M., & Kingir, S. (2017). Promoting pre-service science teachers' conceptual understanding about boiling by dialogic teaching. *Journal of Baltic Science Education*, 16(4), 459-471.
- Demirbaş, M., & Ertuğrul, N. (2014). A study on preschoolers' conceptual perceptions of states of matter: A case study of Turkish students. *South African Journal of Education*, 34(3), 01-13.
- Demircioğlu, H., Dinç, M., & Calik, M. (2013). The effect of storylines embedded within context-based learning approach on grade 6 students' understanding of 'physical and chemical change' concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 12(5), 682-691.
- Denzin, N. K. (1978). Triangulation: A case for methodological evaluation and combination. *Sociological methods*, 339-357.

- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (1994). *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.
- Diener, E., & Crandall, R. (1978). *Ethics in social and behavioral research*. Chicago: University of Chicago Press.
- Domínguez, J. M. (2007). Calor y temperatura. En J. M. Domínguez (Ed.), *Actividades para la enseñanza en el aula de ciencias. Fundamentos y planificación* (pp. 119-130). Santa Fe: Ediciones Universidad Nacional del Litoral.
- Domínguez, J. M., de Pro, A., & García-Rodeja, E. (2003). Esquemas de razonamiento y de acción de estudiantes de ESO en la interpretación de los cambios producidos en un sistema material. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), 199-214.
- Domínguez, J. M., García-Rodeja, E., Illobre, M. L., Castro, M., García, S., & Rocha, A. (1996). La naturaleza corpuscular de la materia y su utilización en el campo conceptual calor y temperatura. Un estudio transversal mediante mapas conceptuales. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), 11-31.
- Driver, R. (1989a). Changing conceptions. In P. Adey (Ed.), *Adolescent Development and School Science* (pp. 79-99). Londres: Falmer Press.
- Driver, R. (1989b). Más allá de las apariencias: La conservación de la materia en las transformaciones físicas y químicas. En R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (pp. 225-258). Madrid: Morata.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1989). *Ideas científicas de la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Duit, R. (2009). *Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*. Kiel, Germany: University of Kiel.

- Duschl, R. A., & Ellenbogen, K. (2009). Argumentation and epistemic criteria: Investigating learners' reasons for reasons. *Educación Química*, 20(2), 111-118.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), 2109-2139.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- Duschl, R. A., Shouse, A. W., & Schweingruber, H. A. (2007). What research says about K-8 science learning and teaching. *Principal*, 87(2), 16-22.
- Eikeseth, U., & Haugstad, K. E. (2021). "I call it frost." Features of scientific social language during inquiry-based learning on the particulate nature of matter. *Nordic Studies in Science Education*, 17(2), 152-166.
- Eilam, B. (2004). Drops of water and of soap solution: Students' constraining mental models of the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 970-993.
- Eilks, I., Moellering, J., & Valanides, N. (2007). Seventh-grade students' understanding of chemical reactions: Reflections from an action research interview study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(4), 271-286.
- Erduran, S., & Jimenez-Aleixandre, M. P. (2007). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Eshach, H., & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.
- Eskilsson, O., & Holgersson, I. (1999). Everyday phenomena and teachers' training. *European Journal of Teacher Education*, 22(2-3), 231-245.

- Evans, N. S., Stevenson, R. B., Lasen, M., Ferreira, J. A., & Davis, J. (2017). Approaches to embedding sustainability in teacher education: A synthesis of the literature. *Teaching and Teacher Education*, 63, 405-417.
- Fellows, N. J. (1994). A window into thinking: Using student writing to understand conceptual change in science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 985-1001.
- Ferreira, I., Urrútia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: Bases conceptuales e interpretación. *Revista española de cardiología*, 64(8), 688-696.
- Fisher, B. (1998). Australian students' appreciation of the greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Teachers Journal*, 44(3), 46-55.
- Fleer, M. (2009). Supporting scientific conceptual consciousness or learning in 'a roundabout way' in play-based contexts. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1069-1089.
- Fleiss, J. (1981). *Statistical methods for rates and proportions*. New York: John Wiley & Sons.
- Flick, U. (1998). *An introduction to qualitative research*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Fonseca, R., Silva, P., & Silva, R. (2007). Acordo inter-juízes: O caso do coeficiente kappa. *Laboratório de Psicologia*, 5(1), 81-90.
- Fontana, A., & Frey, J. H. (1994). Interviewing: The art of science. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 361-376). Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Fox, J. L., & Diezmann, C. M. (2007). What counts in research? A survey of early years' mathematical research, 2000-2005. *Contemporary Issues in Early Childhood*, 8(4), 301-312.
- Frändberg, B., Lincoln, P., & Wallin, A. (2013). Linguistic resources used in Grade 8 students' submicro level explanations - Science items from TIMSS 2007. *Research in Science Education*, 43(6), 2387-2406.

- French, L. (2004). Science as the centre of a coherent, integrated early childhood curriculum. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 138-149.
- Furió, C. J., & Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3), 300-308.
- Gabel, D. L., Stockton, J. D., Monaghan, D. L., & MaKinster, J. G. (2001). Changing children's conceptions of burning. *School Science and Mathematics*, 101(8), 439-451.
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J., & Chi, M. T. H. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*, 22(1), 47-61.
- García-Carmona, A., Criado, A. M., & Cañal, P. (2014a). Alfabetización científica en la etapa 3-6 años: Un análisis de la regulación estatal de enseñanzas mínimas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 131-149.
- García-Carmona, A., Cruz-Guzmán, M., & Criado, A. (2014b). ¿Qué hacías para aprobar los exámenes de Ciencias, qué aprendiste y qué cambiarías? *Investigación en la Escuela*, (84), 31-46.
- García-Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917-1952.
- García-Rodeja, E., Lorenzo, F. M., Domínguez, J. M., & Díaz, J. (1987). *Proyecto AcAb. Química*. Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.
- García-Rodeja, I., & Lima, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 195-218.
- García-Rodeja, I., & Sesto, V. (2016). ¿Por qué sube el agua? Un estudio comparativo del desempeño en el uso de pruebas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 215-229.

- Garrido, A. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Gauchon, L., & Méheut, M. (2007). Learning about stoichiometry: From students' preconceptions to the concept of limiting reactant. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(4), 362-375.
- Gedrovics, J., Cedere, D., & Mozeika, D. (2009). Latvian students' understanding of substance changes: Longitudinal research 1998-2008. *Journal of Baltic Science Education*, 8(2), 79-87.
- Gelman, R., & Brenneman, K. (2004). Science learning pathways for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 150-158.
- Giere, R. N. (2001). A new framework for teaching scientific reasoning. *Argumentation*, 15(1), 21-33.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71(5), 742-752.
- Giere, R. N., Bickle, J., & Maudlin, R. F. (2006). *Understanding scientific reasoning*. Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Models of modelling. In J. K. Gilbert & R. Justi (Eds.), *Modelling-based teaching in science education* (pp. 17-40). Basel, Switzerland: Springer.
- Gil-Flores, J. (1992). La metodología de investigación mediante grupos de discusión. *Enseñanza*, 10-11, 199-214.

- Ginns, I. S., & Watters, J. J. (1995). An analysis of scientific understandings of preservice elementary teacher education students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 205-222.
- Goetz, J. P., & LeCompte (1988). *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata.
- Gómez, E. J., Benarroch, A., & Marín, N. (2006). Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 577-598.
- Gómez-Crespo, M. A., & Pozo, J. I. (2000). Las teorías sobre la estructura de la materia: Discontinuidad y vacío. *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 26, 117-139.
- Gómez-Crespo, M. A., Pozo, J. I., & Sanz, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: Effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79(1), 77-93.
- González, A. (2019). *Panorama de la educación. Indicadores de la OCDE 2019. Informe español. Versión preliminar*. Madrid: Ministerio de Educación y Formación Profesional.
- Gopal, H., Kleinsmidt, J., Case, J., & Musonge, P. (2004). An investigation of tertiary students' understanding of evaporation, condensation and vapour pressure. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1597-1620.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Gutiérrez, R. (1994). Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 10(42), 8-18.
- Hadenfeldt, J. C., Liu, X., & Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: A review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181-208.

- Hadenfeldt, J. C., Neumann, K., Bernholt, S., Liu, X., & Parchmann, I. (2016). Students' progression in understanding the matter concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 683-708.
- Haidar, A. H., & Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938.
- Harlen, W. (2008). Science as a key component of the primary curriculum: A rationale with policy implications. *Primary Science*, 1, 4-18.
- Harlen, W. (2011). Aprendizaje y enseñanza de ciencias basados en la indagación. En J. Campos, C. Montecinos & A. González, *Mejoramiento escolar en acción* (pp. 33-48). Valparaíso: Salesianos Impresores S.A.
- Harris, S. E., & Gold, A. U. (2018). Learning molecular behaviour may improve student explanatory models of the greenhouse effect. *Environmental Education Research*, 24(5), 754-771.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Helldén, G. F. (1998). A longitudinal study of students' conceptualization of ecological processes. Paper presented at the NARST Annual Meeting, San Diego, CA, USA.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Hesse, J. J., & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- Hickling, A. K., & Wellman, H. M. (2001). The emergence of children's causal explanations and theories: Evidence from everyday conversation. *Developmental Psychology*, 37(5), 668.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.

- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (1999). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.
- Hokayem, H., & Schwarz, C. (2014). Engaging fifth graders in scientific modeling to learn about evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(1), 49-72.
- Holgersson, I., & Löfgren, L. (2004). A long-term study of students' explanations of transformations of matter. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(1), 77-96.
- Hozjan, D. (2009). Key competences for the development of lifelong learning in the European Union. *European Journal of Vocational Training*, 46(1), 196-207.
- Hwang, B. T. (1995). Students' conceptual representations of gas volume in relation to particulate model of matter. Paper presented at the NARST Annual Meeting, San Francisco, CA, USA.
- Íñiguez, L. (1999). Investigación y evaluación cualitativa: Bases teóricas y conceptuales. *Atención Primaria*, 23(8), 496-502.
- Izquierdo, J. F., Cunill, F., Tejero, J., Iborra, M., & Fité, C. (2004). *Cinética de las reacciones químicas*. Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona.
- Jacob, E. (1987). Qualitative research traditions: A review. *Review of Educational Research*, 57(1), 1-50.
- Jasien, P. G. (2013). Roles of terminology, experience, and energy concepts in student conceptions of freezing and boiling. *Journal of Chemical Education*, 90(12), 1609-1615.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2003). Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias. En M. P. Jiménez-Aleixandre (Coord.), *Enseñar ciencias* (pp. 55-71). Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B., & Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.

- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Díaz, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: Cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359-370.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In S. Erduran & M. P. Jiménez Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Gallástegui, J. R. (2011). Argumentación y uso de pruebas: Construcción, evaluación y comunicación de explicaciones en Física y Química. En A. Caamaño, J. Ametller, P. Cañal, D. Couso, J. R. Gallástegui, M. P. Jiménez-Aleixandre, R. Justí, R. Pintó, A. de Pro & N. Sanmartí (Eds.), *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 121-141). Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Sanmartí, N. (1995). The development of a new science curriculum for secondary school in Spain: Opportunities for change. *International Journal of Science Education*, 17, 425-439.
- Jin, H., Hokayem, H., Wang, S., & Wei, X. (2016). A US-China interview study: Biology students' argumentation and explanation about energy consumption issues. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(6), 1037-1057.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412.
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, Part 1: Recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), 719-737.
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, Part 2: Explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1037-1054.
- Johnson, P. (2013). A learning progression towards understanding chemical change. *Educación Química*, 24(4), 365-372.

- Johnson, P., & Gott, R. (1996). Constructivism and evidence from children's ideas. *Science Education*, 80(5), 561-577.
- Johnson, P., & Papageorgiou, G. (2010). Rethinking the introduction of particle theory: A substance-based framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 130-150.
- Johnson, P., & Tymms, P. (2011). The emergence of a learning progression in middle school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(8), 849-877.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, M.A., Harvard University Press.
- Johnston, K., & Scott, P. (1991). Diagnostic teaching in the science classroom: Teaching/learning strategies to promote development in understanding about conservation of mass on dissolving. *Research in Science & Technological Education*, 9(2), 193-212.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., & Leitch, A. (2011). Mental models: an interdisciplinary synthesis of theory and methods. *Ecology and Society*, 16(1), 46.
- Junker, B. H. (1960). *Field work: An introduction to the social sciences*. Chicago: University of Chicago Press.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: Key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química*, 20(1), 32-40.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.

- Kabapinar, F., Leach, J., & Scott, P. (2004). The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635-652.
- Kambouri-Danos, M., Ravanis, K., Jameau, A., & Boilevin, J. (2019). Precursor models and early years science learning: A case study related to the water state changes. *Early Childhood Education Journal*, 47(4), 475-488.
- Kauertz, A., Neumann, K., & Haertig, H. (2012). Competence in Science Education. In F. Barry, K. Tobin & C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 711-721). New York: Springer.
- Kawulich, B. (2005). La observación participante como método de recolección de datos. *Forum. Qualitative Social Research*, 6(2), 1-32.
- Kelly, G. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense Publishers.
- Kenyon, L., Schwarz, C., & Hug, B. (2008). The benefits of scientific modeling. *Science and Children*, 46(2), 40-44.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 24-34.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2011). Grade 12 French students' use of a thermodynamic model for predicting the direction of incomplete chemical changes. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1745-1773.
- Kern, A. L., Wood, N. B., Roehrig, G. H., & Nyachwaya, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 165-172.

- Kind, V. (2014). A degree is not enough: A quantitative study of aspects of pre-service science teachers' chemistry content knowledge. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1313-1345.
- Kind, V., & Kind, P. M. (2011). Beginning to teach chemistry: How personal and academic characteristics of pre-service science teachers compare with their understandings of basic chemical ideas. *International Journal of Science Education*, 33(15), 2123-2158.
- Kingir, S., Geban, O., & Gunel, M. (2012). How does the science writing heuristic approach affect students' performances of different academic achievement levels? A case for high school chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(4), 428-436.
- Kingir, S., Geban, O., & Gunel, M. (2013). Using the science writing heuristic approach to enhance student understanding in chemical change and mixture. *Research in Science Education*, 43(4), 1645-1663.
- Kirbulut, Z. D., & Beeth, M. E. (2013a). Consistency of students' ideas across evaporation, condensation, and boiling. *Research in Science Education*, 43(1), 209-232.
- Kirbulut, Z. D., & Beeth, M. E. (2013b). Representations of fundamental chemistry concepts in relation to the particulate nature of matter. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(2), 96-106.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedure for performing systematic reviews*. Keele, UK: Keele University.
- Klahr, D., Fay, A. L., & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive psychology*, 25(1), 111-146.
- Koliopoulos, D., Christidou, V., Symidala, I., & Koutsidou, M. (2009). Pre-energy reasoning in preschool children. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 123-140.
- Koliopoulos, D., Tantaros, S., Papandreou, M., & Ravanis, K. (2004). Preschool children's ideas about floating: A qualitative approach. *Journal of Science Education*, 5(1), 21-24.

- Kolomuc, A., Ozmen, H., Metin, M., & Acisli, S. (2012). The effect of animation enhanced worksheets prepared based on 5E model for the grade 9 students on alternative conceptions of physical and chemical changes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 46, 1761-1765.
- Krajcik, J., & Merritt, J. (2012). Engaging students in scientific practices: What does constructing and revising models look like in the science classroom? *The Science Teacher*, 79(3), 38-41.
- Krnel, D., Watson, R., & Glažar, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20(3), 257-289.
- Kuhn, T. E. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kvale, S. (2011). *Las entrevistas en investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.
- Kypraios, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2014). The role of some individual differences in understanding chemical changes: A study in secondary education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 9(4), 413-427.
- Lacolla, L., Meneses, J. A., & Valeiras, N. (2014). Reacciones químicas y representaciones sociales de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 0089-109.
- Lederman, N. G. (2018). La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(2), 5-22.
- Lee, C. Q., & She, H. C. (2010). Facilitating students' conceptual change and scientific reasoning involving the unit of combustion. *Research in Science Education*, 40(4), 479-504.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blaskeslee, T. D. (1993). Changing middle school students'

- conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- Legare, C. H. (2014). The contributions of explanation and exploration to children's scientific reasoning. *Child Development Perspectives*, 8(2), 101-106.
- Leite, L., Mendoza, J., & Borsese, A. (2007). Teachers' and prospective teachers' explanations of liquid state phenomena: A comparative study involving three European countries. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 349-374.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex.
- Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. *Journal of research in science teaching*, 38(3), 296-316.
- Levins, L. (1992). Students' understanding of concepts related to evaporation. *Research in Science Education*, 22(1), 263-272.
- Liu, X. (2006). Student competence in understanding the matter concept and its implications for science curriculum standards. *School Science and Mathematics*, 106(5), 220-227.
- Liu, X., & Lesniak, K. M. (2005). Students' progression of understanding the matter concept from elementary to high school. *Science Education*, 89(3), 433-450.
- Liu, X., & Lesniak, K. M. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320-347.
- Lodico M. G., Spaulding, D. T. & Voegtle K. H. (2006). *Methods in educational research: From theory to practice*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Wiley.
- Löfgren, L., & Helldén, G. (2008). Following young students' understanding of three phenomena in which transformations of matter occur. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 481-504.
- Löfgren, L., & Helldén, G. (2009). A longitudinal study showing how students use a molecule concept when explaining

- everyday situations. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1631-1655.
- López, W. O. (2013). El estudio de casos: Una vertiente para la investigación educativa. *Educere*, 17(56), 139-144.
- López, W. O., & Vivas, F. (2009). Estudio de las preconcepciones sobre los cambios físicos y químicos de la materia en alumnos de noveno grado. *Educere*, 13(45), 491-499.
- Lorenzo, M., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2018). Una propuesta didáctica para la construcción de un modelo precursor del aire en la Educación Infantil. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 55-68.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2015). Examining learning through modeling in K-6 science education. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 192-215.
- Lowe, J. (1997). Scientific concept development in Solomon Island students: A comparative analysis. *International Journal of Science Education*, 19(7), 743-759.
- Lozano, J. M. (2005). De patos, gansos y cisnes. Revisiones narrativas, revisiones sistemáticas y meta-análisis de la literatura. *Acta Médica Colombiana*, 30(1), 1-3.
- Marais, A. F. (2011). Overcoming conceptual difficulties in first-year chemistry students by applying concrete teaching tools. *South African Journal of Chemistry*, 64, 151-157.
- Marcelo, C. (1992). Cómo conocen los profesores la materia que enseñan. Algunas contribuciones de la investigación sobre conocimiento didáctico del contenido. Ponencia presentada al congreso "Las didácticas específicas en la formación del profesorado", Santiago de Compostela, España.
- Marshall, C., & Rossman, G. (1989). *Designing qualitative research*. Newbury Park, California: Sage Publications.
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la educación primaria*. Barcelona: Graó.
- Martínez-González, R. A. (2007). *La investigación en la práctica educativa: Guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*. Madrid: CIDE/ MEC.

- Martínez-Losada, C., García-Barros, S., & Rivadulla, J. C. (2009). Qué saben los/as alumnos/as de Primaria y Secundaria sobre los sistemas materiales. Cómo lo tratan los textos escolares. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 8(1), 137-155.
- Martínez-Losada, C., García-Barros, S., Vega, P., & Mondelo, M. (1999). Enseñar ciencias en educación primaria: ¿Qué tipos de actividades realizan los profesores? En C. Martínez-Losada & S. García-Barros (Eds.), *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales* (pp. 199-210). A Coruña: Universidade de A Coruña.
- Martins, I. P., & Veiga, L. (2001). Early science education: Exploring familiar contexts to improve the understanding of some basic scientific concepts. *European Early Childhood Education Research Journal*, 9(2), 69-82.
- Mason, J. (1996). *Qualitative researching*. London: Sage Publications.
- Maxwell, J. (1996). *Qualitative research design. An interactive approach*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2009). Synergy between teacher practices and curricular scaffolds to support students in using domain-specific and domain-general knowledge in writing arguments to explain phenomena. *The Journal of the Learning Sciences*, 18(3), 416-460.
- Méheut, M., Saltiel, E., & Tiberghien, A. (1985). Pupils' conceptions (11-12 years old) of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.
- Meier, D. R., & Stremmel, A. J. (2010). Reflection through narrative: The power of narrative inquiry in early childhood teacher education. *Journal of Early Childhood Teacher Education*, 31(3), 249-257.
- Mellado, V., Blanco, L. J., & Ruiz, C. (1998). A framework for learning to teach science in initial primary teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(3), 195-219.
- Membiela, P., & Vidal, M. (2005). Una investigación sobre actividades prácticas de germinación y combustión en la

- formación inicial de los maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 1-4.
- Méndez, D. (2013). ¿Cómo afrontan los alumnos en secundaria las reacciones químicas? *Aula de Encuentro*, 15, 129-137.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013a). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013b). Ensino-aprendizagem de ciências e argumentação: discussões e questões atuais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(1), 187-216.
- Meneses, J. (2016). El cuestionario. En S. Fàbregues, J. Meneses, D. Rodríguez-Gómez & M. H. Paré (Eds.), *Técnicas de investigación social y educativa* (pp. 17-95). Barcelona: UOC.
- Merino, C. (2009). Aportes a la caracterización del “Modelo Cambio Químico Escolar”. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Merino, C., & Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223.
- Merino, C., & Sanmartí, N. (2008). How young children model chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 196-207.
- Merrit, J. D., Krajcik, J., & Shwartz, Y. (2008). Development of a learning progression for the particle model of matter. En *Proceedings of the 8th International Conference for the Learning Sciences-Volume 2* (pp. 75-81). Utrecht, The Netherlands: International Society of the Learning Sciences.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2006). Ley Orgánica 2/2006 del 3 de mayo de Educación. Boletín Oficial del Estado, 4 de mayo de 2006.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD) (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. Boletín Oficial del Estado, 10 de diciembre de 2013.

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD) (2015). Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 29 de enero de 2015.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional (MEFP) (2018). *El mundo estudia español: 2018*. Madrid: Secretaría General Técnica.
- Ministry of Education (2007). *The New Zealand Curriculum*. Wellington: Learning Media Limited.
- Mishra, P. & Kereluik, K. (2011). What 21st Century Learning? A review and a synthesis. In M. Koehler & P. Mishra (Eds.), *Proceedings of SITE 2011. Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 3301-3312). Nashville, Tennessee: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- Monteira, S. F., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2019). ¿Cómo llega el agua a las nubes? Construcción de explicaciones sobre cambios de estado en educación infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2101/1-2101/16.
- Moreira, M. A. (2002). Investigación en educación en ciencias: métodos cualitativos. *Actas del PIDEC*, 4(14), 25-45.
- Moreira, M. A., & Greca, I. M. (2003). Cambio conceptual: Análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência & Educação*, 9(2), 301-315.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: An example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), 67-82.

- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2015). Key characteristics of successful science learning: The promise of learning by modelling. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 168-177.
- Murillo, J. F. (2013). *Estudio de casos*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Naciones Unidas (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. New York: United Nations Publications.
- National Research Council (NRC) (2012). *A framework for K12 Science Education: Practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council (NRC) (2013). *Next Generation Science Standards: For States, by States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Neiman, G., & Quaranta, G. (2006). Los estudios de caso en la investigación sociológica. *Estrategias de investigación cualitativa*, 1, 213-237.
- Nieswandt, M. (2001). Problems and possibilities for learning in an introductory chemistry course from a conceptual change perspective. *Science Education*, 85(2), 158-179.
- Niroj, S., & Srisawasdi, N. (2014). A blended Learning Environment in Chemistry for Promoting Conceptual Comprehension: A Journey to Target Students' Misconceptions. Paper presented at the 22nd International Conference on Computers in Education, Nara, Japan.
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89(4), 535-563.
- Nusche, D., Laveault, D., MacBeath, J., & Santiago, P. (2012). *OECD reviews of evaluation and assessment in education: New Zealand 2011*. New Zealand: OECD Publishing.
- Obaya, A., Vargas, Y. M., & Delgadillo, G. (2008). Estudio exploratorio sobre la comprensión de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes universitarios. *Educación Química*, 19(2), 108-113.

- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1998). *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria*. Madrid: Aula XXI-Santillana.
- Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., & Cuesta, J. (2015). The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(4), 751-791.
- Oliveira, D. K. B., Justi, R., & Mendonça, P. C. C. (2015). The use of representations and argumentative and explanatory situations. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1402-1435.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2000). *Measuring student knowledge and skills: The PISA assessment of reading, mathematical and scientific literacy*. París: OECD.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2002). *Definition and selection of key competencies: Theoretical and conceptual foundations*. París: OCDE.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A Framework for PISA 2006*. París: OECD.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2015). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics, financial literacy and collaborative problem solving*. París: OECD.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2019). *OECD Future of education and skills 2030. Conceptual learning framework. Learning Compass 2030*. París: OECD.
- Ortolani, A., Falicoff, C., Domínguez, J. M., & Odetti, H. (2012). Aplicación de una propuesta de enseñanza sobre el tema «Disoluciones» en la escuela secundaria. Un estudio de caso. *Educación química*, 23(2), 212-221.

- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Oshima, J., Oshima, R., Murayama, I., Inagaki, S., Takenaka, M., Nakayama, H., & Yamaguchi, E. (2004). Design experiments in Japanese elementary science education with computer support for collaborative learning: hypothesis testing and collaborative construction. *International Journal of Science Education*, 26(10), 1199-1221.
- Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550.
- Özmen, H. (2011). Effect of animation enhanced conceptual change texts on 6th grade students' understanding of the particulate nature of matter and transformation during phase changes. *Computers & Education*, 57(1), 1114-1126.
- Paik, S. H. (2015). Exploring the role of a discrepant event in changing the conceptions of evaporation and boiling in elementary school students. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 670-679.
- Paik, S. H., Kim, H. N., Cho, B. K., & Park, J. W. (2004). K 8th grade Korean students' conceptions of 'changes of state' and 'conditions for changes of state'. *International Journal of Science Education*, 26(2), 207-224.
- Papageorgiou, G., & Johnson, P. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena? *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299-1317.
- Papageorgiou, G., Grammaticopoulou, M., & Johnson, P. M. (2010). Should we teach primary pupils about chemical change? *International Journal of Science Education*, 32(12), 1647-1664.

- Papageorgiou, G., Johnson, P., & Fotiades, F. (2008). Explaining melting and evaporation below boiling point. Can software help with particle ideas? *Research in Science & Technological Education*, 26(2), 165-183.
- Papageorgiou, G., Stamovlasis, D., & Johnson, P. M. (2010). Primary teachers' particle ideas and explanations of physical phenomena: Effect of an in-service training course. *International Journal of Science Education*, 32(5), 629-652.
- Park, E. J., & Light, G. (2009). Identifying atomic structure as a threshold concept: Student mental models and troublesomeness. *International Journal of Science Education*, 31(2), 233-258.
- Pendergast, E., Lieberman-Betz, R. G., & Vail, C. O. (2017). Attitudes and beliefs of prekindergarten teachers toward teaching science to young children. *Early Childhood Education Journal*, 45(1), 43-52.
- Perales P., & Cañal P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.
- Pértega, S., & Pita, S. (2005). Revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Cadernos de Atención Primaria*, 12(2), 109-112.
- Peterson, S. M., & French, L. (2008). Supporting young children's explanations through inquiry science in preschool. *Early Childhood Research Quarterly*, 23(3), 395-408.
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Pfundt, H. (1981). The atom: The final link in the division process or the first building block? *Chimia Didactica*, 7, 75-94.
- Pfundt, H. (1982). Pre-instructional conceptions about transformations of substances. *Chimica Didactica*, 8, 1-25.
- Philipp, S. B., Johnson, D. K., & Yeziarski, E. J. (2014). Development of a protocol to evaluate the use of representations in secondary chemistry instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 777-786.

- Piaget, J. (1929). *The child's conception of the world*. London: Routledge.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982) Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Prain, V., Tytler, R., & Peterson, S. (2009). Multiple representation in learning about evaporation. *International Journal of Science Education*, 31(6), 787-808.
- Prieto, T., & Watson, R. (2007). Trabajo práctico y concepciones de los alumnos: La combustión. En M. Izquierdo, A. Caamaño & M. Quintanilla (Eds.), *Investigar en la enseñanza de la Química. Nuevos horizontes: Contextualizar y modelizar* (pp 115-140). Barcelona: UAB.
- Prieto, T., Blanco, A., & Brero, V. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: Una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 3-14.
- Prieto, T., Watson, R., & Dillon, J. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22(1), 331-340.
- Rahayu, S., & Tytler, R. (1999). Progression in primary school children's conceptions of burning: Toward an understanding of the concept of substance. *Research in Science Education*, 29(3), 295-312.
- Ravanis, K. (2017). Early childhood science education: State of the art and perspectives. *Journal of Baltic Science Education*, 16(3), 284-288.
- Ravanis, K., Koliopoulos, D., & Hadzigeorgiou, Y. (2004). What factors does friction depend on? A socio-cognitive teaching intervention with young children. *International Journal of Science Education*, 26(8), 997-1007.
- Ravanis, K., Papandreou, M., Kampeza, M., & Vellopoulou, A. (2013). Teaching activities for the construction of a precursor model in 5- to 6-year-old children's thinking: The case of thermal expansion and contraction of metals. *European Early Childhood Education Research Journal*, 21(4), 514-526.

- Raviolo, A., Garritz A., & Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 240-254.
- Redfors, A. (2003). University physics students' use of explanatory models. Paper presented at the GIREP International Conference, Lund, Sweden.
- Redfors, A., & Holgersson, I. (2006). Student teachers use of models when explaining everyday phenomena in physics. Paper presented at the NARST Annual Meeting, San Francisco, USA.
- Reinfried, S., & Tempelmann, S. (2014). The impact of secondary school students' preconceptions on the evolution of their mental models of the greenhouse effect and global warming. *International Journal of Science Education*, 36(2), 304-333.
- Reiser, B. J., Berland, L. K., & Kenyon, L. (2012). Engaging students in scientific practices of explanation and argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8 -13.
- Ribeiro, M. G. T. C., Pereira, D. J. V. C., & Maskill, R. (1990). Reaction and spontaneity: The influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal of Science Education*, 12(4), 391-401.
- Ribeiro, R. M. L., & Martins, I. (2007). O potencial das narrativas como recurso para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos de Física. *Ciência & Educação*, 13(3), 293-309.
- Robertson, A. D., & Shaffer, P. S. (2014). "Combustion always produces carbon dioxide and water": A discussion of university chemistry students' use of rules in place of principles. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 763-776.
- Rocha, A. (2011). La enseñanza del equilibrio químico como estrategia para resignificar otros conceptos y modelos en el aula de Química. En A. Rocha, S. García & J. M. Domínguez (Eds.), *Materiales didácticos para la enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza en educación secundaria y*

- bachillerato* (pp. 299-345). Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Rocha, A., & Bertelle, A. (2007). El rol del laboratorio en el aprendizaje de la Química. Recuperado o 27 de abril de 2021 de https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/arochoa/p5-0/index_archivos/BIBLIOGRAFIA/2007-ROLLABORATORIO-Bertelle.pdf0/index_archivos/BIBLIOGRAFIA/2007-ROLLABORATORIO-Bertelle.pdf
- Rocha, A., Iturralde, C., García-Rodeja, E., Domínguez, J. M., Castro, M., Caruso, M. F., & Scandrolí, N. (1998). Construcción del concepto de reacción química. *Educación Química*, 9(3), 150-154.
- Rodrigues, R. F., & Pereira, A. (2018). Explicações no ensino de ciências: revisando o conceito a partir de três distinções básicas. *Ciência & Educação*, 24(1), 43-56.
- Rychen, D. S., & Salganik, L. H. (2003). *Key competencies for a successful life and well-functioning society*. Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers.
- Sağs, M., Flevares, L. M., & Trundle, K. C. (2010). Four-to six-year-old children's conceptions of the mechanism of rainfall. *Early Childhood Research Quarterly*, 25(4), 536-546.
- Saglam, Y., & Ozbek, M. (2016). Children's conceptual development: A long-run investigation. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 2(2), 145-159.
- Samarapungavan, A., Sapkota, B. K., Bryan, L. A., Staudt, C., Glidden, A., Broadhead, J., Pinto, H. E. W., & Hook, K. (2021). Developing kindergarten students' conceptions of microscopic properties of matter through modeling-based technology-enriched instructions. Paper presented at the AERA Virtual Annual Meeting.
- Samon, S., & Levy, S. T. (2017). Micro–macro compatibility: When does a complex systems approach strongly benefit science learning? *Science Education*, 101(6), 985-1014.

- Sandín, M. P. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones*. Madrid: McGraw Hill Interamericana
- Sanmartí, N. (1995). Aprenen Ciències els més petits. *Revista Infància*, 85, 8-11.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M., & Watson, R. (1995). The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science. *Science & Education*, 4(4), 349-369.
- Schraw, G., Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139.
- Schwartz, P., & Barbera, J. (2014). Evaluating the content and response process validity of data from the chemical concepts inventory. *Journal of Chemical Education*, 91(5), 630-640.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631.
- Serobatse, B. M., Selvaratnam, M., & Drummond, H. P. (2014). Students' conceptions about the sub-microscopic approach to explanations in chemistry throughout their BSc degree course. *South African Journal of Chemistry*, 67, 40-44.
- Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534.

- Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2021). How Do Five-to Six-Year-Old Children Interpret a Burning Candle? *Education Sciences*, 11(5), 213.
- Skolverket (2011). *Curriculum for the compulsory school, preschool class and the leisure-time centre 2011*. Stockholm: Ordfrörådet AB.
- Smothers, S. M., & Goldston, M. J. (2010). Atoms, elements, molecules, and matter: An investigation into the congenitally blind adolescents' conceptual frameworks on the nature of matter. *Science Education*, 94(3), 448-477.
- Snir, J., Smith, C. L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter. *Science Education*, 87(6), 794-830.
- Solomon, J. (1988). Unha perspectiva social de los esquemas conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 5, 17-20.
- Solomon, J. (1989). The social construction of school science. En R. Millar (Ed.), *Doing science: Images of science in Science Education* (pp. 126-136). Philadelphia, PA: The Falmer Press.
- Solomon, J. (1998). The science curricula of Europe and the notion of scientific culture. In D. A. Roberts & L. Östman (Eds.), *Problems of meaning in science curriculum* (pp. 166-177). New York: Teacher College Press.
- Solomon, J., & Aikenhead, G. (1994). *STS education: International perspectives of reform*. New York: Teacher College Press.
- Solsona, N. R., Izquierdo, M., & de Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25(1), 3-12.
- Sóñora, F., García-Rodeja, I., & Brañas, M. (2001). Discourse analysis: Pupils' discussions of soil science. In I. García-Rodeja, J. Díaz, U. Harms & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Proceedings of the 3rd ERIDOB conference* (pp. 313-326). Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela.

- Sopandi, W., Latip, A., & Sujana, A. (2017). Prospective primary school teachers' understanding on states of matter and their changes. *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), 012075.
- Southerland, S., Kittleson, J., Settlage, J., & Lanier, K. (2005). Individual and group meaning making in an urban third grade classroom: Red fog, cold cans, and seeping vapor. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(9), 1032-1061.
- Stake, R. E. (1994). Case studies. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 236-247). Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Stamovlasis, D., Kypraios, N., & Papageorgiou, G. (2015). A SEM model in assessing the effect of convergent, divergent and logical thinking on students' understanding of chemical phenomena. *Science Education International*, 26(3), 284-306.
- Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2012). Understanding chemical change in primary education: The effect of two cognitive variables. *Journal of Science Teacher Education*, 23(2), 177-197.
- Stamovlasis, D., Papageorgiou, G., & Tsitsipis, G. (2013). The coherent versus fragmented knowledge hypotheses for the structure of matter: an investigation with a robust statistical methodology. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 485-495.
- Stamovlasis, D., Tsitsipis, G., & Papageorgiou, G. (2012). Structural equation modeling in assessing students' understanding of the state changes of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 357-368.
- Stavy, R. (1990a). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.
- Stavy, R. (1990b). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12(5), 501-512.

- Stavy, R. (1991a). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 305-313.
- Stavy, R. (1991b). Children's ideas about matter. *School Science and Mathematics*, 91(6), 240-244.
- Stein, M., Larrabee, T. G., & Barman, C. R. (2008). A study of common beliefs and misconceptions in physical science. *Journal of Elementary Science Education*, 20(2), 1-11.
- Stern, L., Barnea, N., & Shauli, S. (2008). The effect of a computerized simulation on middle school students' understanding of the kinetic molecular theory. *Journal of Science Education and Technology*, 17(4), 305-315.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715.
- Stevens, S. Y., Shin, N., & Peek-Brown, D. (2013). Learning progressions as a guide for developing meaningful science learning: A new framework for old ideas. *Educación Química*, 24(4), 381-390.
- Stojanovska, M. I., Petruševski, V. M., & Šoptrajanov, B. T. (2012). Addressing students' misconceptions concerning chemical reactions and symbolic representations. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 21(6), 829-852.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedure and techniques*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1994). Grounded theory methodology. *Handbook of qualitative research*, 17(1), 273-285.
- Suckling, C. J., Suckling, K. E., & Suckling, C. W. (1978). *Chemistry through models: Concepts and applications of modelling in chemical science, technology and industry*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Suriñach, D. (2017). El sistema educativo de los Estados Unidos de América. *Avances en Supervisión Educativa*, 28, 1-23.

- Swedish Institute (2015). *Equal access to free education*. Stockholm: Swedish Institute.
- Talanquer, V. (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: Additive versus emergent frameworks. *Science Education*, 92(1), 96-114.
- Talanquer, V. (2010). Exploring dominant types of explanations built by general chemistry students. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2393-2412.
- Tan, K-C. D., Goh, N-K., Chia, L-S., & Treagust, D. F. (2003). Students' understanding of acid, base and salt reactions in qualitative analysis. *School Science Review*, 84(308), 89 – 97.
- Tarhan, L., Ayyıldız, Y., Ogunc, A., & Sesen, B. A. (2013). A jigsaw cooperative learning application in elementary science and technology lessons: Physical and chemical changes. *Research in Science & Technological Education*, 31(2), 184-203.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. London, UK: Cambridge University Press.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.
- Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Crowley, J., Yung, B. H., Cheong, I. P. A., & Othman J. (2010). Evaluating students' understanding of kinetic particle theory concepts relating to the states of matter, changes of state and diffusion: A cross-national study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 141-164.
- Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Zain, A. N., Ong, E. T., Karpudewan, M., & Halim, L. (2011). Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 251-261.
- Trundle, K. C. (2015). The inclusion of science in early childhood classrooms. In K. C. Trundle & M. Sackes (Eds.), *Research in*

- early childhood science education* (pp. 1-6). Dordrecht: Springer.
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2010). The effect of three cognitive variables on students' understanding of the particulate nature of matter and its changes of state. *International Journal of Science Education*, 32(8), 987-1016.
- Tümay, H. (2014). Prospective chemistry teachers' mental models of vapor pressure. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 366-379.
- Tytler, R. (2000). A comparison of Year 1 and Year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: Dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22(5), 447-467.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2000). Deconstructing learning in science - Young children's responses to a classroom sequence on evaporation. *Research in Science Education*, 30(4), 339-355.
- Tytler, R., Prain, V., & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research in Science Education*, 37(3), 313-331.
- Unión Europea (UE) (2006). Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. Diario Oficial de la Unión Europea, 30-12-2006, L 384/10 - L 394/18.
- Usak, M., Ozden, M., & Eilks, I. (2011). A case study of beginning science teachers' subject matter (SMK) and pedagogical content knowledge (PCK) of teaching chemical reaction in Turkey. *European Journal of Teacher Education*, 34(4), 407-429.
- Valverde, D., González, J., & de Pro, A. (2017). ¿Qué sub-competencias digitales muestran unos alumnos de 4º de la Educación Secundaria Obligatoria ante una animación sobre una reacción química a nivel microscópico? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 40-57.

- Van Dijk, T. A. (1981). Episodes as units of discourse analysis. In D. Tannen (Ed.), *Analyzing discourse: Text and talk* (pp. 177-195). Georgetown: Georgetown University Press.
- Van Dijk, T. A. (2012). Discourse and knowledge. In J. P. Gee & M. Handford (Eds.), *The Routledge Handbook of Discourse Analysis* (pp.587-603). New York: Routledge.
- Varela, B., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2020). An investigation of secondary students' mental models of climate change and the greenhouse effect. *Research in Science Education*, 50(2), 599-624.
- Varelas, M., Pappas, C. C., & Rife, A. (2006). Exploring the role of intertextuality in concept construction: Urban second graders make sense of evaporation, boiling, and condensation. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), 637-666.
- Vázquez, S. (2016). Comunicación y aprendizaje de la ciencia con estudiantes sordos: La materia y sus transformaciones. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela, España.
- Vázquez, S., & García-Rodeja, I. (2005). «Signando» juntos: Conversaciones sobre la transformación de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 237-250.
- Vázquez-Alonso, A., & Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 32-53.
- Voelker, A. M. (1967). The relative effectiveness of two methods of instruction in teaching the classificational concepts of physical and chemical change to elementary school children. Doctoral dissertation. University of Wisconsin, Madison.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S. (2002) Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. Nersessian (Eds.), *Model-based reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). New York: Springer.

- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183.
- Wang, T. L., & Tseng, Y. K. (2018). The comparative effectiveness of physical, virtual, and virtual-physical manipulatives on third-grade students' science achievement and conceptual understanding of evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 203-219.
- Watson, J. R., Prieto, T., & Dillon, J. S. (1995). The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 487-502.
- Watson, J. R., Prieto, T., & Dillon, J. S. (1997). Consistency of students' explanations about combustion. *Science Education*, 81(4), 425-443.
- Weil-Barais, A. (2001). Constructivist approaches and the teaching of science. *Prospects*, 31(2), 187-196.
- White, R. T., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. New York: Falmer Press.
- Xunta de Galicia (2007a). Decreto 133/2007, de 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 13 de xullo de 2007.
- Xunta de Galicia (2007b). Decreto 130/2007, de 28 de xuño, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 9 de xullo de 2007.
- Xunta de Galicia (2009). Decreto 330/2009, do 4 de xuño, polo que se establece o currículo da educación infantil na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 23 de xuño de 2009.
- Xunta de Galicia (2014). Decreto 105/2014, do 4 de setembro, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 9 de setembro de 2014.

- Xunta de Galicia (2015). Decreto 86/2015, do 25 de xuño, polo que se establece o currículo da educación secundaria obrigatoria e do bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 29 de xuño de 2015.
- Yalcin, F. A. (2012). Pre-service primary science teachers' understandings of the effect of temperature and pressure on solid-liquid phase transition of water. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 369-377.
- Yan, F., & Talanquer, V. (2015). Students' ideas about how and why chemical reactions happen: Mapping the conceptual landscape. *International Journal of Science Education*, 37(18), 3066-3092.
- Yin, R. K. (1994). *Case study research. Design and methods*. California: Sage Publications.
- Zhang, Z. H., & Linn, M. C. (2011). Can generating representations enhance learning with dynamic visualizations? *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1177-1198.
- Zhang, Z. H., & Linn, M. C. (2013). Learning from chemical visualizations: Comparing generation and selection. *International Journal of Science Education*, 35(13), 2174-2197.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' argumentation skills through bioethical dilemmas in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 35-72.

ANEXO: CONTIDO PUBLICADO

Neste anexo inclúese información acerca da relación de publicacións que aportan contidos á tese, e as autorizacións das revistas para o uso da publicación na tese.

Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2021). How do five- to six-year-old children interpret a burning candle? *Education Sciences*, 11(5), 213.

Título:	How do five- to six-year-old children interpret a burning candle?
Ano:	2021
Revista:	Education Sciences
Volume:	11
Número:	5
Páxinas:	213
DOI:	https://doi.org/10.3390/educsci11050213
Contribución da doutoranda:	Conceptualización e metodoloxía. Adquisición e análise de datos. Redacción, edición e revisión do manuscrito.
Índices de calidade:	A revista presenta un índice CiteScore de 2.1 obtido por Scopus no ano 2020 e ocupa a posición correspondente ao cuartil 2 (Q2) na categoría de Educación e ao cuartil 3 (Q3) na categoría de Psicoloxía do Desenvolvemento e da Educación de acordo con Scimago Journal Rank 2020.
Autorización da revista:	<p>A revista Education Sciences, pertencente á editorial MDPI AG, onde se publicou parte do Capítulo 4, permite a utilización do artigo por parte da autora como parte da súa tese.</p> <p>https://www.mdpi.com/openaccess</p> <p>Non se precisa dun permiso especial para re-utilizar todo ou parte do artigo publicado por MDPI, incluíndo figuras e táboas. Para artigos publicados baixo a licenza de acceso aberto <i>Creative Commons</i>, calquera parte do artigo pode ser re-utilizada sen permiso.</p>

Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534.

Título:	Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión
Ano:	2017
Revista:	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias
Volume:	14
Número:	3
Páxinas:	521-534
DOI:	http://hdl.handle.net/10498/19505
Contribución da doutoranda:	Conceptualización e metodoloxía. Adquisición e análise de datos. Redacción, edición e revisión do manuscrito.
Índices de calidade:	A revista presenta un índice CiteScore de 1.3 obtido por Scopus no ano 2020 e ocupa a posición correspondente ao cuartil 3 (Q3) na categoría de Educación de acordo con Scimago Journal Rank 2020. Tamén conta co selo de calidade da FECYT 2020 (Q1).
Autorización da revista:	<p>A Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, publicación electrónica da Universidade de Cádiz e da Asociación de Profesores Amigos da Ciencia-EUREKA, onde se publicou parte do Capítulo 5, permite a utilización do artigo por parte da autora como parte da súa tese.</p> <p>https://revistas.uca.es/index.php/eureka/about</p> <p>Esta revista proporciona un acceso aberto ao seu contido, baseado no principio de que ofrecer ao público un acceso libre ás investigacións axuda a un maior intercambio global do coñecemento. Os/as autores/as poden manter o copyright. A revista permitirá aos autores/as o uso non-comercial do traballo.</p>



José María Oliva Martínez, editor de Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, publicación electrónica de la Universidad de Cádiz y de la Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia-EUREKA, con ISSN 1697-011X, DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.

HACE CONSTAR:

Su autorización para que *Vanessa Sesto Varela* incluya en su tesis doctoral el siguiente artículo de su autoría publicado en esta revista:

Sesto V., García-Rodeja I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.02

Y para que surtan los efectos oportunos, firmo la presente en Puerto Real, Cádiz, a 22 de julio de 2021:



José María Oliva Martínez

